



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MYLLYTEOLLISUUDEN SIVUVIRTOJEN VAI- KUTUS LEIPÄPUSSIPAPERIN LAATUOMI- NAISUUKSIIN

Johannes Vuorenmaa

Opinnäytetyö
Tammikuu 2018
Biotuote- ja prosessitekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessitekniikka

Vuorenmaa Johannes

Myllyteollisuuden sivuvirtojen vaikutus leipäpussipaperin laatuominaisuuksiin

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Tammikuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia myllyteollisuuden sivuvirtojen vaikutusta leipäpussipaperin laatuominaisuuksiin ja niiden käyttömahdollisuuksia leipäpussipaperin valmistuksessa. Sivuvirtoina käytettiin kauran- ja ohrankuoria, joita lisättiin mätysulfaattimassan sekaan. Sivuvirroista valmistettiin eri pitoisuuksilla olevia arkkeja, ja näistä arkeista testattiin leipäpussipaperin tärkeitä ominaisuuksia. Tuloksia verrattiin koearkkiin ja Mondi Groupin kaupalliseen leipäpussipaperiin. Massanvalmistusta varten sivuvirrat käsiteltiin lipeäliuoksella ja jauhettiin mätysulfaatin mukana. Jauhatusajaksi valittiin, työtilaajan Luken:n kanssa, 90 minuuttia.

Työssä valmistettiin arkit käyttämällä mätysulfaattia, sekä sivuvirtoja sisältäviä massoja. Valmiit arkit puristettiin ja kuivatettiin, jonka jälkeen niistä voitiin ottaa mittauksia laboratoriossa. Sivuvirta-arkkeista saatuja tuloksia verrattiin koearkkiin ja Mondi Groupin tuotteeseen. Vertailun perusteella huomattiin, että sivuvirtojen käyttö heikensi joitakin ominaisuuksia suhteessa koearkkiin, mutta niiden tulokset olivat kuitenkin suurimmaksi osin parempia, kuin Mondi Groupin kaupallisen tuotteen.

Tuloksien perusteella sivuvirtojen käyttö on mahdollista leipäpussipaperin valmistuksessa ainakin 15 % asti. Jotta sivuvirtojen tarkempia eroja, voitaisiin vertailla valmiiseen tuotteeseen, täytyisi ne valmistaa samoilla laitteilla. Tässä työssä eroja selittää jonkin verran eri valmistusmenetelmät ja käytetyt laitteet sivuvirta-arkkien ja Mondin tuotteen välillä.

Asiasanat: myllyteollisuus, sivuvirrat, leipäpussipaperi, koearkki, mätysulfaatti

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bioproduct and Process Engineering
Name of the Option

Vuorenmaa Johannes
Mill industries side streams effect on paper breadbag quality properties

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 15 pages
January 2018

The target of the thesis work was to research the effect of mill industries side streams use on paper bread bag quality properties and the possibility to use them on paper breadbag manufacturing. Oat and barley was used as the side streams, which were added to pine sulfate. Side streams were made to sheets that contained different percentages of the streams. These sheets were tested for critical qualities of the paper breadbag. For the manufacturing of the pulp oat and barley was treated with sodium hydroxide and refined with the pine sulfate. Refining time was decided together with the client of the thesis work Luke.

The sheets were made using pine sulfate and pulp containing different amounts of the side streams. The sheets were pressed and dried and after that they were ready for measurements. The results from the side stream sheets were compared to a test sheet and to a finished product from Mondi Group. Based on the comparison the usage of the side streams weakened some properties, when compared to the test sheet, but their results were mostly better than the Mondi Groups paper breadbags.

Based on the results it is possible to use mill industries side streams in paper breadbag up to 15 %. In order to compare the differences between side stream sheets and Mondi Groups product more accurately, they would have to be made with the exact same methods. This was not possible in the thesis work so some of the differences can be explained with the different manufacturing methods.

Key words: paper breadbag, side stream, test sheet, mill industry, pine sulfate

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LEIPÄPUSSI.....	8
2.1	Yleistä	8
2.2	Leipäpussin raaka-aineet ja ominaisuudet	9
2.2.1	Vetolujuus	9
2.2.2	Repäisyjujuus	11
2.2.3	Puhkaisulujuus	12
2.2.4	Jäykkyys eli taivutusvastus	13
2.2.5	Ilmanläpäisy	14
3	KAURAN- JA OHRANKUORI	16
3.1	Kaurankuori	16
3.2	Ohrankuori	16
4	ARKKIEN VALMISTUS	17
4.1	Massojen valmistus.....	17
4.2	Jauhatus.....	19
4.3	Arkkien teko	22
4.3.1	Arkkien märkäpuristus ja kuivaus.....	25
5	MITTAUSTEN SUORITTAMINEN JA TULOSTEN ANALYSOINTI	28
5.1	Neliömassa.....	28
5.2	Paksuus, tiheys ja bulkki.....	29
5.3	Ilmanläpäisy	31
5.4	Taivutusvastus	32
5.5	Repäisyjujuus.....	34
5.6	Vetolujuus.....	37
5.7	Puhkaisulujuus	39
6	TULOSTEN VERTAILU VALMIISEEN LEIPÄPUSSIIN	42
7	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	48
	Liite 1. kaikki taulukkoarvot	48
	Liite 2. Arkkien kuvat	58

ERITYISSANASTO

SR-luku	suotautuvuusluku, joka kuvaa massan suotautumisnopeutta
neliömassa	g/m^2
bulkki	paperin paksuuden ja neliömassan suhde cm^3/g
indeksi	mittaustulos suhteutettuna neliömassaan
ISO-187	standardoidut mittausolosuhteet paperi- ja kartonkimittauk- siin
sivuvirrat	myllyteollisuudessa syntyviä sivuvirtoja, tässä tapauksessa kauran- ja ohrankuori

1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia mahdollisuutta käyttää myllyteollisuuden prosessissa syntyviä sivuvirtatuotteita leipäpussipaperin valmistuksessa. Tämä tehtiin tutkimalla vaikutusta paperin ominaisuuksiin. Kauran- ja ohrankuoresta valmistettuja arkkeja vertailtiin koearkkeihin, joihin ei ollut lisätty kauraa tai ohraa, ja tutkittiin sivuvirtojen vaikutus leipäpussipaperin tärkeissä ominaisuuksissa.

Paperinvalmistuksessa on pitkään pyritty alentamaan valmistuskustannuksia eri keinoin kuten: korvaamalla käytettäviä raaka-aineita halvemmilla vaihtoehdoilla, pienentämällä prosessin energiantarvetta, selvittämällä uusien raaka-aineiden vaikutusta, paperin oleellisissa ominaisuuksissa. Tämän opinnäytetyön tilaaja, Luonnonvarakeskus, eli LUKE halusi selvittää, voidaanko leipäpussipaperia valmistaessa korvata osa sen raaka-aineista, myllyteollisuuden sivuvirtatuotteilla, jotka tällä hetkellä menevät pääosin polttoon energiantuotannossa. Tällaisilta sivuvirtatuotteilta vaaditaan kuitumaisia ominaisuuksia, että niitä voidaan hyödyntää paperin valmistuksessa.

Sivuvirtatuotteet tulivat Fazerin myllyn toimesta, joilla oli ehdotus raaka-aineista ja niiden käyttämisestä leipäpussipaperin valmistuksessa. Sivuvirtatuotteiksi valikoitui kaurankuori ja ohrankuori. Näitä sivuvirtoja syntyy huomattava määrä myllyteollisuudessa sivuvirtoina ja normaalisti ne poltetaan energiaksi. Näitä sivuvirtatuotteita käsiteltiin soveltumaan paremmin paperinvalmistukseen ja niitä testtiin paperisen leipäpussin valmistuksessa, korvaamalla osa leipäpussin pääraaka-aineesta eli mäntysulfaatista kauran- ja ohrankuorella.

Työn teoriassa selvitetään leipäpussin valmistusmenetelmiä, leipäpussille tärkeimpiä vaatimuksia paperinvalmistuksen kannalta sekä kauran- ja ohrankuoren ominaisuuksia ja käyttötarkoituksia. Lisäksi käsitellään pussipaperin tärkeimpiä raaka-aineita ja niiden tuomia ominaisuuksia paperille ja paperin loppukäyttökohdetta ja sen asettamia vaatimuksia tuotteelle.

Tutkimuksellisessa osassa suoritetaan tarvittavia mittauksia leipäpussipaperin kannalta, joilla selvitetään koepaperin ja sivuvirtapaperien ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia tutkimalla, saadaan selvitettyä, mitä tapahtuu, kun mäntysulfaattia korvataan sivuvirroilla, ja miten se vaikuttaa leipäpussipaperin kriittisiin ominaisuuksiin. Saatuja arvoja vertaillaan keskenään ja saadaan jokaiselle paperi ominaisuudelle, kuten vetolujuus, puhkaisulujuus, repäisy lujuus, käsitys heikentääkö vai mahdollisesti parantaako sivuvirtojen käyttö paperin ominaisuuksia suhteessa koepaperiin. Molemmista sivuvirtatuotteista otetaan kolme eri pitoisuutta 5, 10 ja 15 prosenttia kuiva-aineesta, jonka avulla saadaan myös tietoa, että paljonko sivuvirtoja on mahdollista lisätä säilyttämällä halutut ominaisuudet lopputuotteelta.

2 LEIPÄPUSSI

Leipäpussi on pakkaustuote, jota käytetään elintarvikkeiden pakkaamiseen ja suojaamiseen. Kyseessä on primäärinen pakkaus, jossa tuote on valmiiksi pakattuna, tai asiakas pakkaa itse tuotteen paistopisteestä. Pakkauksella suojataan myytävää tuotetta. Valmiiksi pakattu leipäpussi on yleensä ikkunallinen ja painettu, jotta asiakas näkee tuotteen kunnon ja valmistajan. Paistopisteessä käytettävät leipäpussit voivat olla ikkunallisia tai ikkunattomia ja yleensä painamattomia.

2.1 Yleistä

Kääre- ja pakkauspapereita käytetään pääasiassa erilaisten tuotteiden pakkaamiseen. Pakkauspapereiden, säkki-, joustopakkaus- sekä pussi- ja käärepapereiden, markkinat kasvavat vuosittain noin 5 %. Pakkauspapereita käytetään noin 30 miljoonaa tonnia vuodessa. (Knowpap 2017)

Tavallisesti leipäpussit on valmistettu valkaisuomattomasta tai valkaistusta sulfaattisellusta. Pussipaperien neliömassa vaihtelee 25 - 150 g/m². Käytetty neliömassa riippuu lopputuotteesta ja käyttökohteesta. Leipäpussissa neliömassa on yleisesti 60 – 80 g/m². Leipäpussin tulee kestää suhteellisen kovaa rasitusta ja säilyä ehjänä, jotta tuote pysyy koskemattomana. Näin ollen lujuusominaisuudet, kuten puhkaisulujuus, vetolujuus ja repäisylujuus, ovat tärkeitä leipäpusseille. Leipäpussia käsitellään monessa eri vaiheessa, joten valmiin tuotteen on kestävä paljon rasitusta. Tuotteelta vaaditaan hyvä repäisylujuus ja puhkaisulujuus. Paperille on yleensä toivottua pieni tiheys ja korkea bulkki. Suuri bulkki korreloi mm. suuren jäykkyyden ja suuren repäisylujuuden kanssa. Paperin tiheys riippuu olennaisesti paperin huokoisuudesta, eli jos paperin tiheys on pieni, niin ilmanläpäisy on suuri. (Knowpap 2017)

Lisäksi, koska kyseessä on elintarvikepakkaus, tarvitaan suojaa valolta, kosteudelta, hajuilta ja maulta. Leipäpussin tulee estää tehokkaasti veden- ja rasvanabsorptio, ettei pakattavasta tuotteesta pääse pussin läpi rasvaa, tai kosteutta. (Knowpap 2017)

2.2 Leipäpussin raaka-aineet ja ominaisuudet

Leipäpussi on tyypillisesti valmistettu valkaisemattomasta havupuusulfaattimassasta, jonka käyttö antaa tuotteelle haluttuja lujuusominaisuuksia pitkien kuitujen ansiosta. Mäntysellun kuitujen pituus on noin 2mm. Pitkäkuituisten sellujen flokkaantumis taipumuksen takia pussipaperikoneiden perälaatikkosakeus on yleensä erittäin alhainen, noin 0,15 – 0,20 %. Havupuusulfaattimassa valmistetaan keittämällä havupuuraaka-aine natriumhydroksidia ja natriumsulfidia sisältävällä liuoksella ns. valkolipeällä. Keitossa on tarkoitus poistaa puusta ligniiniä ja epäpuhtauksia, jotka soveltuvat huonosti paperinvalmistukseen. Mäntysulfaattimassa keitetään yleensä kappa-alueelle 25 – 35. Kappaluku kuvaa massan ligniinipitoisuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 26-32; Isotalo 2004, 32, 62-65; Knowpap 2017.)

Täyte- ja lisäaineilla pyritään parantamaan paperin painettavuutta, lujuusominaisuuksien kustannuksella. Tästä syystä leipäpussin valmistuksessa käytetään hyvin vähän täyte- ja lisäaineita, sillä oleellisinta on hyvät lujuusominaisuudet. Leipäpussissa käytetään alunaa, hartsia ja jonkin verran tärkkelystä. Tärkkelys toimii halpana sideaineena, joka antaa tuotteelle sopivan kuivalujuuden. Tärkkelys parantaa kuivalujuutta, mutta sen käyttö heikentää samalla tuotteen lujuusominaisuuksia. Aluna ja hartsit yhdistetään keskenään, joka sulaa ja sintrautuu kuidun pinnan alle paperikoneen kuivatusosalla. Alunasta ja hartsista muodostuu ohut yhdiste, alumiiniresinaatti, joka on hydrofobinen yhdiste ja tämä antaa paperille tarvittavaa märkäljuutta. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 37-38, 43; Knowpap 2017.)

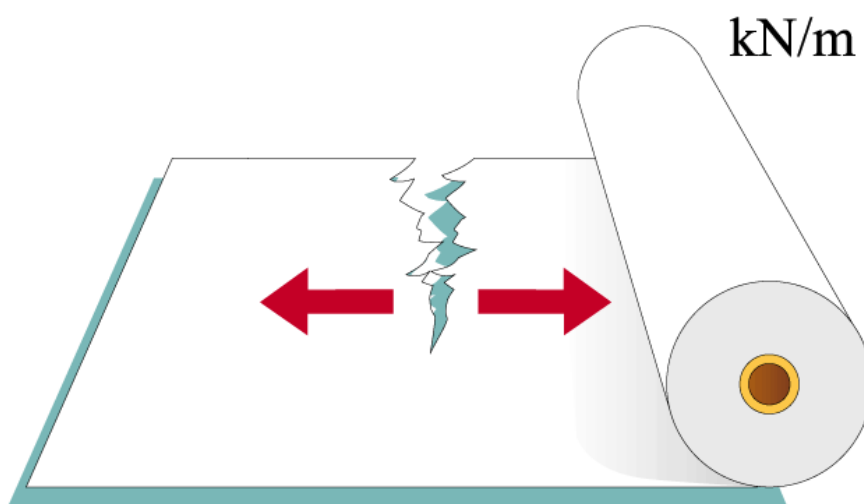
2.2.1 Vetolujuus

Vetolujuus kuvaa suurinta kuormitusta, jonka paperista tai kartongista leikattu liuska kestää murtumatta pinnan suuntaisesti vedettäessä. Pakkauspapereilta vaaditaan lujuutta, jotta ne voivat suojata pakattavaa tuotetta. Paperin vetolujuuteen vaikuttaa useita tekijöitä. Suurin vaikutus on käytettävällä raaka-aineella ja sen kuiduilla. Paras vetolujuus saavutetaan pitkillä, suorilla ja hyvät sitoutumisominaisuudet omaavilla kuiduilla. Parhaat lujuusominaisuudet papereille saavutetaan havupuumassoilla, joissa on pitkät ja vah-

vat kuidut, jotka tuovat papereille haluttuja lujuusominaisuuksia. Vetolujuus kasvaa neliömassan kasvaessa. Kun halutaan mitata vetolujuutta, mitataan sitä vetolujuusindeksinä. Vetolujuusindeksistä saatu arvo suhteutetaan mitatun arkin neliömassaan, jolloin saadaan vetolujuudelle vertailukelpoinen arvo. Vetolujuusindeksi ilmoitetaan muodossa Nm/g. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 94; Knowpap 2017.)

Massan jauhatuksella voidaan parantaa vetolujuutta, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti. Liiallinen jauhatus on haitallista lujuusominaisuuksille, koska liiallinen jauhatus alentaa yksittäisten kuitujen lujuutta. Joten jauhatusaste onkin valittava haluttujen ominaisuuksien mukaan. Jauhatuksen avulla parannetaan kuitujen sitoutumiskykyä, eli kykyä muodostaa vahvoja kuitukimppuja ja kasvattamaa kuitujen ominaispinta-alaa. Massan sakeus perälaatikossa vaikuttaa vetolujuuteen. Jos massan sakeus on liian suuri, kuidut muodostavat flokkeja. Tällöin viiraosalla muodostuvan rainan formaatio heikkenee, koska rainaan jää kohtia, joissa kuituja on vähän. Paperia kuormittaessa murtuminen alkaa heikoimmasta kohdasta. Saman neliömassan omaavilla papereilla vetolujuus on huonoin näytteellä, jonka formaatio on huonoin. Formaation lisäksi kuituorientaatiolla on suuri vaikutus vetolujuuteen. Paperin lujuus vetosuunnassa on sitä suurempi, mitä voimakkaammin kuidut ovat suuntautuneet vetosuuntaan. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 98; Knowpap 2017.)

Vetolujuus



Kuva 1. Vetolujuus mittauseriaate (Knowpap 2017)

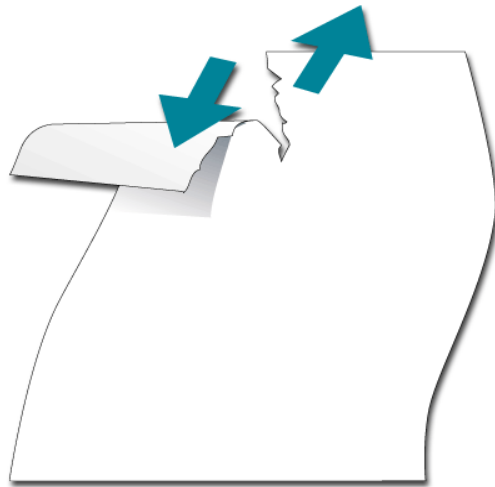
2.2.2 Repäisylujuus

Repäisylujuudella tarkoitetaan tietyn mittaisen repeämän tekemiseen tarvittavaa työtä. Perinteisesti repäisylujuus mitataan ns. Elmendorfin peritaatteella (ISO 1974), jossa mitataan se työ, joka tarvitaan neljän päällekkäisen arkin repäisemiseen alkuviillosta lähtien. Repäisylujuuden arvo ilmoitetaan voimana, jonka arkkien repäisyn jatkamiseen vaaditaan. Yksikkö on mN ja repäisylujuudestakin lasketaan indeksi neliömassan avulla. Paperin repäisylujuutta käytetään viansietokyvyn arviointiin. Katkot painokoneilla johtuvat usein paperirainassa olevien likäläiskien, reikien ja reunavikojen kohdilla olevista jännityshuipuista, joista aiheutuu poikittainen repeämä. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2006, 98-99; Iso-standardit; Knowpap 2017.)

Repäisylujuus kuvaa paperin kykyä vastustaa jännityshuippujen aiheuttamaa repeämistä. Tarkasteltaessa paperin repäisykohtaa huomataan, että osa kuiduista on tullut vedetyksi ehjinä ulos ja osa on katkennut. Repäisylujuus kuvaa siis sitä voimaa, mitä vaaditaan kuitujen ulos vetämiseen ja katkaisemiseen. Repäisylujuuden voimaan vaikuttaa ehyiden kuitujen ulosvetämistä vastustava kitka, kuitusidosten murtamiseksi tehty työ ja ulosvetomatkan pituus, joka riippuu kuitujen pituudesta. Katkenneiden kuitujen osalta tehtyyn työhön vaikuttaa yksittäisten kuitujen lujuudet. Suurin vaikutus repäisylujuudelle on kuitujen pituus ja sitoutumiskyky. (Hägglom Ahnger & Komulainen 2006, 98-99; Knowpap 2017.)

Jauhatuksella voidaan aluksi lisätä repäisylujuutta, mutta se alkaa laskea varsin pian jauhatusmäärän lisääntyessä. Tämä johtuu siitä, että jauhettaessa kuituja pidemmälle, niiden lujuus heikkenee ja kuidut katkeilevat helpommin. Jauhatus parantaa repäisylujuutta, koska se lisää kuitujen sitoutumiskykyä. Vähäisellä jauhatuksella kuitujen sitoutumiskyky on niin pieni, että kuidut tulevat helposti vedetyiksi ulos repäisykohdassa. Neliömassa lisää paperin repäisylujuutta, mutta repäisylujuusindeksillä laskettaessa neliömassaerot eivät vaikuta mittaukseen. (Knowpap 2017)

Repäisylujuus



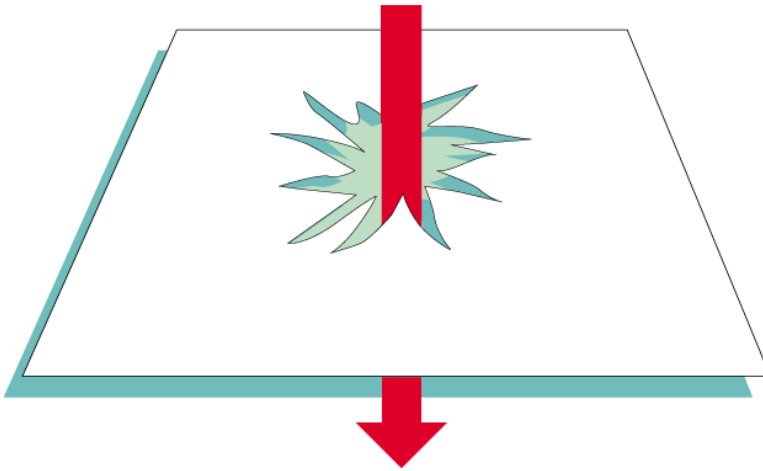
Kuva 2. Repäisylujuus mittausperiaate (Knowpap 2017)

2.2.3 Puhkaisulujuus

Puhkaisulujuus kuvastaa hydraulisen paineen maksimiarvoa, jonka näytekappale kestää rikkoutumatta. Paine kohdistetaan näytteeseen pyöreän kimmoisan kalvon välityksellä. Puhkaisulujuus ilmaistaan paineena kPa, kun puhkaisuindeksi on puhkaisulujuus jaettuna neliömassalla, ja se ilmaistaan yksikkönä $\text{kPa m}^2/\text{g}$. (Knowpap 2017)

Paperiin ei yleensä kohdistu puhkaisulujuusmittauksen kaltaista kuormitusta. Puhkaisulujuus on muita paperin ominaisuuksia tunnottomampi ilman suhteellisen kosteuden muutoksille. Puhkaisulujuutta voidaan rajoitukset huomioon ottaen käyttää paperin yleislujuuden mittarina. Paperikoneella valmistetun paperin puhkaisulujuus määräytyy konesuuntaisen vetolujuuden ja murtovenymän perusteella. Puhkaisulujuutta voidaan siis parantaa parantamalla konesuuntaista vetolujuutta ja suurentamalla konesuuntaista murtovenymää vähentämällä paperin konesuuntaista venytystä kuivatusosalla. (Knowpap 2017)

Puhkaisulujuus



Kuva 3. Puhkaisulujuus mittausperiaate (Knowpap 2017)

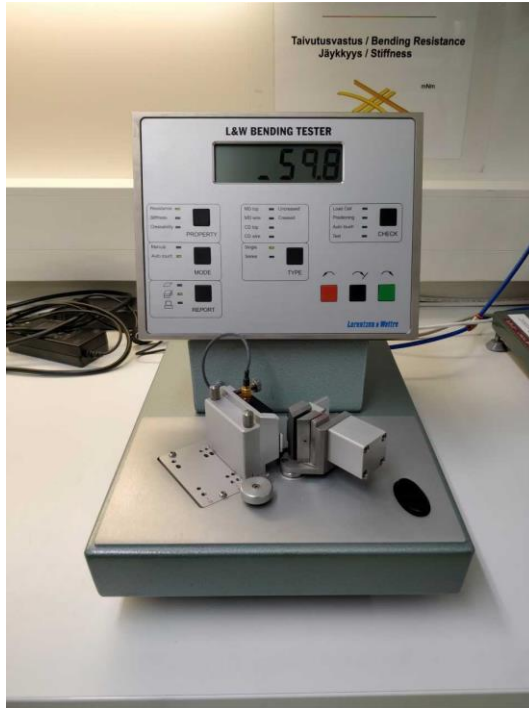
2.2.4 Jäykkyys eli taivutusvastus

Taivutusjäykkyys on lujuusopin peruskäsitteitä. Jäykkyys on täsmällinen fysikaalinen suure, jota voidaan siis mitata. Paperin valmistuksessa puhutaan yleensä lopputuotteen ryhdistä, eli kuinka hyvin valmis tuote säilyttää muotonsa. Paperin taivutusvastus lasketaan kimmokertoimen ja paksuuden mukaan. (Knowpap 2017)

Paperin jäykkyyttä mitataan staattisin ja dynaamisin menetelmin. Staattisessa mittauksessa paperia taivutetaan ja mitataan taivuttamiseen käytetty voima. Dynaamisessa mittauksessa näyteliuskaa heilutetaan tietyllä taajuudella ja vedetään liuskaa lyhemmäksi. Resonanssia vastaavasta pituudesta saadaan laskettua jäykkyys. Staattiset mittaukset vastaavat hitaita ilmiöitä ja dynaamiset nopeita. Lopputuotteen ryhtiin vaikuttaa hitaat ilmiöt. Jäykkyyden mittaukseen aiheuttaa ongelmia kevyiden papereiden huono mittaustulosten tarkkuus. (Knowpap 2017)

Paperin taivutusvastusta voidaan parantaa tekemällä paksumpaa, eli bulkkisempaa paperia. Tämä on tehokkain tapa lisätä paperin taivutusvastusta. Kimmokertoimen kasvattaminen lisää kanssa taivutusvastusta. Taivutusvastuksen parantaminen heikentää monia muita paperin ominaisuuksia, joten taivutusvastusta ei voi optimoida yksin. Käyttämällä

pitkäkuituista massaa, voidaan korostaa paperin jäykkyyttä, sillä jäykällä kuiduilla pak-
suus on suuri. Alhainen taivutusvastus aiheuttaa ajettavuusongelmia, rynkkyä ja ratakat-
koja. Painatuksessa ilmenee ongelmia viimeistelyssä, taitossa ja nidonnassa. Ajettavuus-
ongelmat rajoittuvat alhaisen neliömassan papereihin. (Knowpap 2017)



Kuva 4. L&W BENDING TESTER-laite taivutusvastuksen mittaukseen

2.2.5 Ilmanläpäisy

Ilmanläpäisyllä kuvataan, kuinka paljon ilmaa virtaa paperin läpi, joka korreloi paperin huokoisuuden kanssa. Ilmanläpäisy mitataan arkin läpi virtaavana ilmana minuutin aikana ja yksikkönä on ml/min. Ilmanläpäisylle tyypillisin mittaus on Bendtsen-ilmanläpäisy. Bendtsen mittauksessa mitattava arkki laitetaan tasaisen lasisen alustan ja pyöreän metallipään väliin, josta mitataan kuinka suuri ilmavirta menee paperin ja metallipään välistä minuutin aikana. (Knowpap 2017)

Paperin huokoisuuteen ja samalla ilmanläpäisyyteen vaikuttaa pääsääntöisesti massa ja sen jauhatustaso. Mekaanisten massojen jäykät ja bulkkiset kuidut muodostavat huokoisemman paperin, kuin kemialliset massat. Jauhatus alentaa entisestään kemiallisten massojen

huokoisuutta, koska kuidut luhistuvat ja muuttuvat taipuisammiksi. Paperin ilmanläpäisykyky riippuu pääasiassa paperin huokoisuudesta, huokoskoon jakautumisesta ja huokosten suuntautumisesta arkissa. Paperiarkin tiivistyessä jauhatuksen tai märkäpuristuksen takia, pienentää kuitujen välistä ilmatilaa, eli ilmanläpäisy heikkenee. Paperin huokoisuuden ja huokoskokojakauman vaihtelut rainan tasossa korreloivat pienimittaisen neliömassavaihtelun, eli formaation kanssa. (Häggbloom-Ahnger & Komulainen 2006, 88-89; Knowpap 2017.)



Kuva 5. Bendtsen mittauslaite ilmanläpäisyyteen

3 KAURAN- JA OHRANKUORI

3.1 Kaurankuori

Kauran tuotanto on hyvin alhaista suhteessa muihin viljoihin maailmanlaajuisesti, mikä johtuu kauran korkeasta kuoripitoisuudesta, joka on noin 25 % suurempi, kuin muilla viljoilla, sekä alhainen satotaso vehnään ja ohraan verrattuna vaikuttaa myös kauran viljelyyn. Suomessa kauraa viljellään paljon. Tämä johtuu siitä, että kaura sopii viljeltäväksi hyvin happamille suomaille, joita Suomessa on paljon. Suomessa kauraa tuotetaan noin 1 miljoona tonnia vuodessa, jota viljellään pääasiassa rehuiksi. Kauranjyvä on kuoren sisällä, joka joudutaan poistamaan, ennen prosessointia elintarvikkeisiin käytettävästä kaurasta. Tämän seurauksena kauranviljelyn sivutuotteena syntyy kaurankuorta. Kaurankuorta käytetään Suomessa pääasiassa energian tuottamiseen polttamalla, mutta osa menee myös rehuiksi esimerkiksi poroille. (Maaseudun tulevaisuus. 13.11.2016; Vuorenmaa, J. Hankkija Oy)

3.2 Ohrankuori

Ohra on Suomen tärkein viljakasvi, jonka viljelyyn käytetään 30 % koko Suomen viljelysalasta. Vuosisato on noin 1.9 miljoonaa tonnia. Yli puolet tuotetusta ohrasta menee rehuteollisuuteen. Myllyteollisuuden ja tärkkelysteollisuuden sivutuotteena syntyy ohrankuorta, joka käytetään energian tuottamiseen polttamalla, niin kuin kaurankuortakin. Toistaiseksi viljojen kuorille on löytynyt hyvin vähän muita käyttökohteita. (Leipätiedotus; Vuorenmaa, J. Hankkija Oy)

4 ARKKIEN VALMISTUS

Työssä oli tarkoitus valmistaa arkkeja, eri sivuvirtapitoisuuksilla, käyttämällä mäntysulfaattimassaa ja kauran- ja ohrankuorta. Yhdessä työntilaajan Luonnonvarakeskuksen kanssa päädyimme valmistaan koearkin mäntysulfaatista tekemällä sen 2g/l pitoisuudella, eli kuiva-ainepitoisuudeksi tuli 0.2 %. Lisäksi valmistin arkkeja sivuvirroista samaan pitoisuuteen, joissa mäntysulfaatista oli korvattu 5, 10 ja 15 % sivuvirroilla. Arkeille asetettiin neliömassatavoite 60g/m^2 . Näistä muodostui seitsemän tutkittavaa koepistettä.

4.1 Massojen valmistus

Massaksi valittiin mäntysulfaatti, joka on leipäpussipaperissa tavallisesti käytetty massa. Massa oli isona mäntysulfaattiarkkina, josta punnittiin haluttu määrä massaa. Massanvalmistusohjeiden mukaan massaa punnittiin 360g. Tämän jälkeen massa revittiin pieniksi paloiksi ja sekoitettiin viiteen litraan vettä. Massan ja veden annettiin vaikuttaa vähintään neljä tuntia, jonka jälkeen se olisi valmista jauhattavaksi. Vedellä haluttiin turvottaa kuituja, jotta ne kestäisivät jauhatuksen rasituksia paremmin.

Kauran- ja ohrankuori ovat kovaa viljanjyviä suojaavaa materiaalia, joten niiden käyttäminen paperinvalmistuksessa vaati esikäsittelyä. Kuorien käsittely saatiin sovittua Megatrex Oy:ssä järjestettäväksi. Megatrex Oy on erikoistunut erilaisten tuotteiden jauhatukseen, sekoitukseen, dispergointiin ja homogenisointiin. Kauran- ja ohrankuoret liuotettiin vedellä, jotta ne kestäisivät paremmin käsittelyn, eikä käsittelyn aiheuttama lämpöenergia aiheuttaisi ongelmia. Kuoret kaadettiin Megatrex Oy:n jauhimeen, jossa pyöri 8 kehikkoa terineen, niin että vierekkäiset kehiöt pyörivät vastakkaisiin suuntiin. Syöttäessä kuorta laitteeseen se liikkuu kehikkojen lävitse ja kehikkojen erisuuntainen liike saa terät repimään ja murskaamaan kuorimateriaalia. Tämän käsittelyn jälkeen oli kuitenkin huomattavissa, että vaikutus oli mitätön. Kuorimateriaali ei muuttunut juurikaan käsittelyn seurauksena. (Megatrex Oy)

Kauran- ja ohrankuoriarkeissa osa mäntysulfaatista korvattiin kuorilla vastaamaan haluttua prosenttiosuutta kokonaiskuiva-ainemassasta. Näin ollen kuorta lisättiin kuiva-ainemassana 18 grammaa, 36 grammaa ja 54 grammaa. Lisättävää määrää luonnonpainossa

varten täytyi selvittää kauran ja ohran kuiva-ainepitoisuus haihduttamalla pienestä määrästä vesi pois ja selvittämällä kosteusprosentti. Tämän avulla pystyttiin laskemaan lisäystarve luonnonpainossa kauralle ja ohralle.

Ensimmäisellä kerralla kaura- ja ohramassat lisättiin mäntysulfaatin sekaan, vasta jauhauksen jälkeen. Tässä vaiheessa ilmeni ongelmia kuoren sekoittumisessa massan joukkoon. Kuoriaines jäi massasulpun pinnalle, eikä sekoittunut massan joukkoon kunnolla. Valmiissa arkeissa kauran- ja ohrankuori oli kerääntynyt arkin pinnalle ja kuoren tunki paperin pinnalla ja se irtosi paperista. Tämän seurauksena oli pakko keksiä jatkokäsittelyä kuorille, koska ne haluttiin saada massan sekaan, eikä arkin pinnalle.

Tavoitteena oli saada kuoresta massan joukkoon sekoittuva ainesosa. Kuori ei sekoittunut vetisen massan joukkoon, vaan jäi sen pinnalle, joten ajatuksena oli, että kuorella oli hydrofobisia ominaisuuksia ja se sisälsi ligniiniä. Tämän seurauksena päätettiin kokeilla kuoren käsittelyä lipeällä ja sekoittaa ne massan sekaan, ennen jauhatusta. Lipeäkäsittelyn avulla saadaan poistettua ligniiniä ja muita epäpuhtauksia, sekä kasvatettua kuoren pH:ta ja muuntamaan sitä hydrofiilisemmaksi.

Kuoret käsiteltiin noin 10 % lipeäliuoksella, joka sisälsi 35g NaOH rakeita eli natriumhydroksia ja 350g vettä. Seoksen annettiin sekoittua ja sinne lisättiin kuoriainesta tarvittava määrä. Tämän jälkeen seos laitettiin keittolevylle ja astiaa sekoitettiin sähkötoimisella sekoittimella, sillä lipeäkäsittely vaatii toimiakseen lämpöä ja liikevoimaa. Seoksen annettiin vaikuttaa kaksi tuntia, jonka aikana seurattiin lämpötilanmuutosta. Käsittelyn jälkeen lipeä täytyi huuhdella huolellisesti pois kuoren joukosta. Seos kaadettiin tiivistuskuokaan ja sitä huuhdeltiin niin kauan, että läpi virtaava neste oli kirkasta.

Tämän jälkeen käsitellyistä kuorista mitattiin kuiva-ainepitoisuus Mettler Toledo kuivaainemittarilla, josta saatiin selville kummankin kuorimateriaalin lisäystarve luonnonpainossa. Laitteeseen laitettiin noin kaksi grammaa märkää kuorimateriaalia ja laite haihduttaa kosteuden pois lämmön avulla ja ilmoittaa kosteusprosentin, josta saatiin kuivaainepitoisuus. Ohralle saatiin kuiva-ainepitoisuuden arvo 26.3 % ja tämän avulla laskettiin todellinen määrä ohraa, että saatiin kuiva-ainetta 18g, 36g ja 54g. Viiden prosentin seokseen lisättiin 68.4g kymmenen prosentin seokseen 136.8g ja viidentoista prosentin seokseen 205.2g. Kauran kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 26 %, josta laskettiin lisäystarpeet.

Viiden prosentin seokselle 69.2g, kymmenen prosentin seokselle 138.5g ja viidentoista prosentin seokselle 207.7g. Nämä määrät lisättiin mäntysulfaatin sekaan, jota oli mitattu niin, että yhteiskuivapaino oli 360g, eli mäntysulfaattia tuli 342g, 324g ja 306g. Nämä massat sekoitettiin viiteen litraan vettä ja jätettiin vaikuttamaan neljäksi tunniksi, jonka jälkeen ne olivat valmiita jauhatukseen.

Sivuvirtamateriaaleja tutkiessa lipeäkäsittelyn jälkeen, havaittiin, että niissä oli selkeitä eroja silmämääräisesti. Ohra vaikutti paljon hienompijakoiselta ja kuorimateriaali oli hyvin pientä. Kaurassa puolestaan oli havaittavissa vielä pitkäkököä kuorimateriaalia ja se ei ollut sekoittunut yhtä hienoksi. Lisäksi käsissä tutkiessa ohra hajosi helposti sormissa ja siitä oli kadonnut painoa käsittelyn aikana melkein puolet. Kaurasta ei kadonnut juurikaan painoa ja käsissä näki pitkiä kuoren kappaleita.

4.2 Jauhatus

Massojen jauhatukseen käytettiin Valley Hollander-jauhinta. Valley Hollander-jauhimesta on kaukalo, johon massasulppu lisättiin ja kaukalossa on pyörivä jauhinterä ja nippisäätö, joka säädettiin painojen avulla. Sähkömoottori pyörittää jauhinterää ja aiheuttaa samalla vedenkierron kaukalossa. Jauhimeen lisättiin 18 litraa vettä ja laitettiin sähkömoottori käyntiin. Tämän jälkeen annettiin jauhimen pyöriä ilman painoja noin 20 minuuttia, minkä aikana joukkoon sekoitettiin valmistettu massaseos tasaiseen tahtiin.



Kuva 6. Valley Hollander-jauhin, jolla massat jauhettiin

Jauhimeen tuli siis yhteensä 23 litraa vettä ja 360 grammaa massaa. Sen jälkeen, kun massaseos oli sekoitettu veden joukkoon ja jauhin oli pyörinyt 20 minuuttia ilman painoja, lisättiin siihen painot, mikä sai terävälín pienentymään ja alkoi varsinainen jauhatusaika. Tätä työtä varten valittiin jauhatusajaksi 90 minuuttia ja jauhatusohjeiden mukaan painoja laitettiin 5.5 kilogrammaa. Jauhatusajan täytyttyä laite pysäytettiin ja massaseos voitiin kerätä talteen pohjassa olevan tulpan kautta. Tässä vaiheessa massa oli valmista arkkien tekoa varten.



Kuva 7. Jauhin käynnissä

Käytössä oli kaksi Valley Hollander-jauhinta, mutta pääasiassa käytettiin yhtä jauhinta. Päätettiin kuitenkin kokeilla, saadaanko toisella jauhimella; jonkinlaisia havaittavia eroja aikaiseksi ja kauran kymmenen prosenttisen seoksen jauhettiin toisella jauhimella. Tässä jauhimessa terä oli ruosteessa ja tylsempi, kuin toisessa jauhimessa. Vertaillen SR-lukuja huomattiin, että kauran kymmenen prosenttisella massalla on selvästi huonoin suotautuvuus. Ainoa ero massojen valmistuksessa ja käsittelyssä on ollut käytetty jauhin. Voidaan olettaa, että käytetty jauhin on aiheuttanut heikon SR-luvun.

Taulukko 1. Schopper-Riegler-luvut

	Mänty 90min	Kaura 5 %	Kaura 10 % *)	Kaura 15 %	Ohra 5 %	Ohra 10 %	Ohra 15 %
Sr-luku	24	27	20	25	28	29	32

*) eri jauhin kuin muissa koepisteissä

Jauhatuksen jälkeen huomasi selkeästi, että kauran- ja ohrankuoret olivat sekoittuneet massan sekaan, eli lipeäkäsittely ja jauhatus olivat saaneet aikaan halutun lopputuloksen. Kuten aiemmin todettiin, ennen lipeällä käsittelyä kuori-aines jäi massan pintaan, josta koitui ongelmia arkkien valmistuksessa kuoren jäädessä arkin pintaan. Nyt kuori oli osa massaa.

4.3 Arkkien teko

Valmistuneesta massasta piti muodostaa sopiva seos arkkien tekemistä varten. Ohjeiden mukaan massaseosta otettiin 1.2 litraa mitta-astialla ja siihen lisättiin 8.2 litraa vettä. Arkkien tekoa varten oli käytössä sekoitussäiliö, johon lisättiin ensin vettä, joka kulki puhdistussukan läpi ja sekaan kaadettiin massasulppu. Sulppua otettiin ämpäristä, jossa oli noin 9.4 litraa seosta. Tätä seosta tarvittiin yhden arkin tekoon 0.8 litraa.

Tämän jälkeen seosta sekoitettiin paineilman avulla 30 sekunnin ajan. Sekoitussäiliön pohjalla oli viirakalvo ja sen alapuolella vedenpoistovenkki. Viiran läpi poistui suurin osa vedestä ja massa muodostui arkiksi viiran pinnalle. Vedenpoiston jälkeen avattiin sekoitussäiliö, joka nousee ylös viiraosan päältä ja päästiin käsiksi arkkiin. Arkin päälle laitettiin imukartonki, joka imi kosteutta arkista ja mahdollisti arkin poiston viiran päältä. Imukartongin päälle asetettiin metallilevy ja metallilevyn päältä kaulittiin viisi kertaa, jolloin arkki saatiin kiinnittymään imukartonkiin ja se voitiin nostaa pois viiralta. Valmistunut arkki siirrettiin kuivaustelineeseen ja sen päälle laitettiin kaksi imukartonkia lisää, eli pohjalle jäi yksi ja päälle kaksi kartonkia. Viiraosa huuhdeltiin hyvin vedellä, että saatiin jääneet massan palat ja epäpuhtaudet pois viiralta. Tämä tehtiin sen takia, että jo-kaista arkkiä tehdessä oli samat olosuhteet ja arkin muodostumiseen vaikuttaa heikentävästi kaikki epäpuhtaudet viiraosalla.



Kuva 8. Arkin valmistuslaite, arkki teossa

Arkkeja oli tarkoitus valmistaa noin 20 kappaletta jokaista koepistettä. Tällä varmistettiin, että arkit riittävät laboratoriomittauksiin ja saatiin laaja otanta arkkeja, jossa arkkikohtaisia eroja minimoitiin. Yhtä arkkiä kohden tarvittiin 0.8 litraa massaseosta. Seokseen tuli 8.2 litraa vettä ja 1.2 litraa jauhimesta saatua massaa. Näin ollen valmistin kaksi annosta massaa jokaista koepistettä kohti 13 litran ämpäreihin. Osa massasta jäi käyttämättä, koska ämpärin pohjalta ei saanut otettua mitta-astialla tarvittavaa määrää. Ainut vaihtoehto olisi ollut kaataa massaseos ämpäristä mitta-astiaan. Tällä keinolla viimeiset arkit olisivat olleet pääasiassa vettä, koska painavampi massa jäi ämpärin pohjalle, eikä sitä saanut kaadettua tasaisesti mitta-astiaan.

Arkit valmistettiin yksi koepiste kerrallaan. Jokaisesta koepisteestä otettiin alkuun SR-luku, jotta tiedettiin kunkin massan suotautumiskyky, eli kuinka hyvin massa poistaa

vettä viiraosalla. Arkkien valmistuksessa ei ilmaantunut suurempia ongelmia. Tärkein asia oli, että puhdisti viirakalvon hyvin jokaisen arkin välissä, ja otti tasaisesti massaseosta 0.8 litraa jokaista arkkia kohden. Massaseosta sekoitettiin jokaisen arkin välissä, jotta se olisi mahdollisimman tasaista, eikä massa painuisi ämpärin pohjalle. Tällä saatiin vähennettyä neliömassavaihtelua arkkien välillä.



Kuva 9. Arkin valmistus, laite auki, josta näkyy viirakalvo ja sekoitussäiliö

4.3.1 Arkkien märkäpuristus ja kuivaus

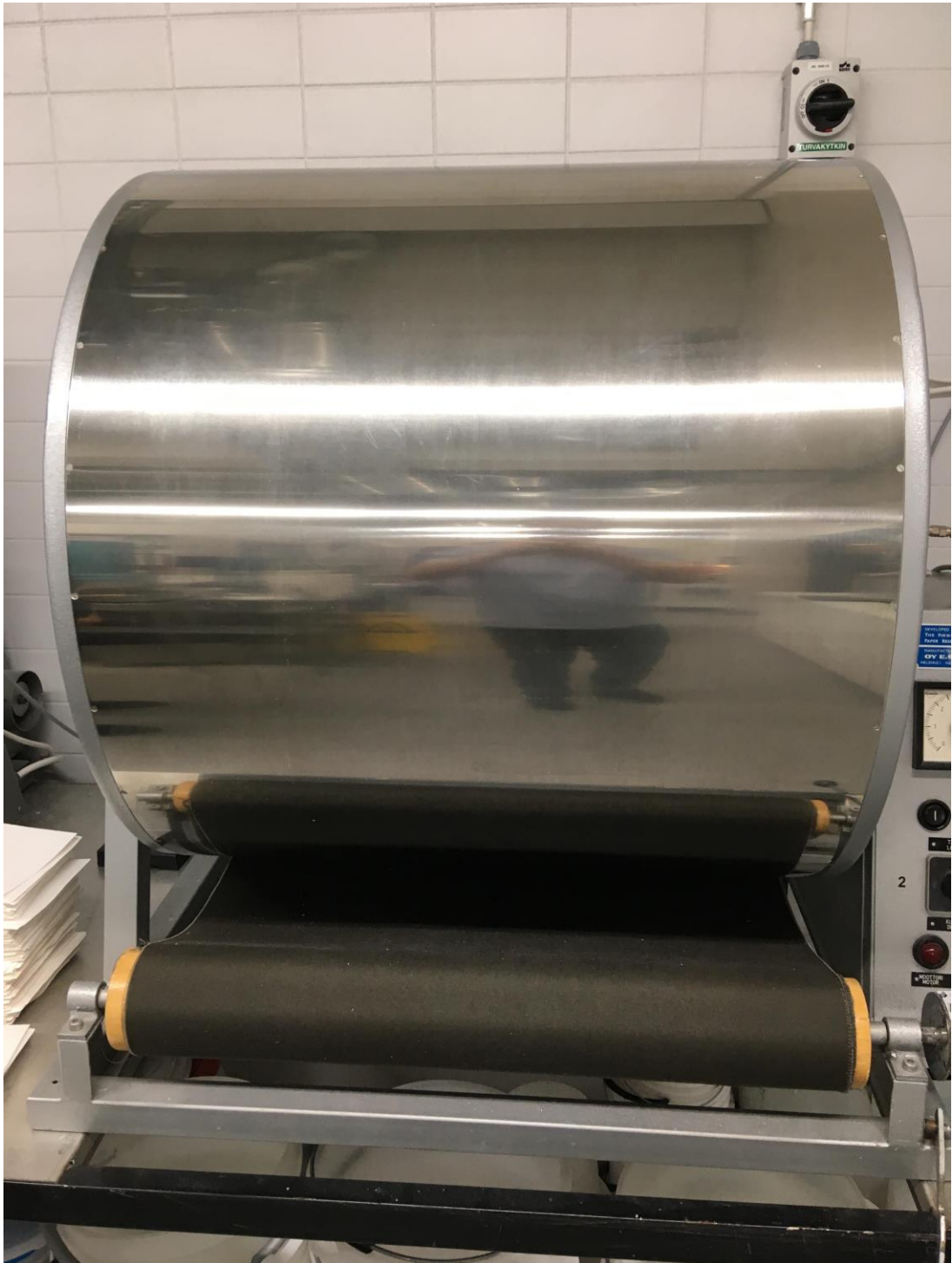
Arkkien valmistuksessa käytetään todella paljon vettä ja sitä jää arkkiin huomattava määrä. Tämän takia arkeista täytyy puristaa mahdollisimman paljon ylimääräistä vettä pois, mahdollisimman tasaisesti. Tämän avulla saadaan tiivistettyä arkkiä ja tiivistyminen mahdollistaa kuitujen välisten sidosten muodostumisen kuivauksen aikana. Lisäksi tehokkaalla puristuksella säästetään paperin kuivatusajassa.

Yhden koepisteen arkkien valmistuksen jälkeen, täytyi valmiit arkit laittaa märkäpuristukseen. Märkäpuristusta varten arkkien pohjalle ja pinnalle laitettiin nippu imukartonkeja, joiden avulla saatiin tarvittava puristusvoima ja ne keräsivät samalla ylimääräistä vettä itseensä. Märkäpuristuksessa käytettiin viiden baarin painetta, jonka annettiin vaikuttaa viiden minuutin ajan. Tämän jälkeen ylimääräiset imukartongit poistettiin arkkien päältä ja arkit voitiin siirtää kuivatukseen.



Kuva 10. Märkäpuristuslaite tyhjänä

Kuivatusta varten oli käytössä lämmitettävä rumputela. Arkit asetettiin telan ja kankaan väliin niin, että arkki koski suoraan telaan ja arkin ja kankaan väliin jäi yksi imukartonki. Kuivatusaika oli neljä tuntia ja käytetty lämpötila oli noin 90 astetta. Tämän jälkeen arkit poistettiin telalta ja irrotettiin ylimääräinen imukartonki arkista. Jokaiseen arkkiin oli kirjattu arkissa käytetty massa ja arkin numero, jolloin oli helppo erottaa arkit toisistaan. Kuivatuksen jälkeen arkeista piti poistaa epätasainen reuna leikkaamalla. Leikkauksen jälkeen arkit olivat mitoiltaan noin 15cm*15cm.



Kuva 11. Kuivatustela, arkit laitettiin telan ja liinan väliin puristuksiin

5 MITTAUSTEN SUORITTAMINEN JA TULOSTEN ANALYSOINTI

Kaikki mittaukset on suoritettu biotuotetekniikan laboratorion vakiokosteushuoneessa. Laboratoriossa pyritään pitämään ilmankosteus 50 % ja lämpötila noin 23 asteessa. Nämä olosuhteet on määritelty paperimittausten ISO-standardeissa. Ilmankosteutta ja lämpötilaa käsitellään ISO 187-standardissa, joka pätee kaikkiin mittauksiin, mitkä koepisteistä suoritettiin. Lisäksi eri mittauksille on määritelty omia standardeja mittausten suorittamiseen ja näytteiden leikkaamiseen. Ilmanläpäisyssä näytteet tarvitsi leikata ISO 8791-4 mukaan. Taivutusvastuksessa näytteet leikattiin ISO 2493 mukaan. Repäisyylujuudessa näytteet leikattiin ISO 1974:1990 mukaan, tätä mittausta varten laboratoriossa oli oma leikkauslaite, jolla saatiin standardin mukaisia mittanäytteitä. Puhkaisulujuutta varten ei ole erillistä standardia, mutta ISO 187 pätee siihenkin. Vetolujuutta mitattaessa koearkit leikattiin ISO 1924-3 standardin mukaisesti. Kaikki koearkkien mittoja ja olosuhteita koskevat standardit löytyivät laboratoriossa olevista mittaohjeista, jotka on koostettu jokaiselle laitteelle erikseen. Kaura 10 % koepisteen mittaustuloksia, ei ole otettu huomioon tuloksien pohdinnassa. Tämä johtuu kaura 10 % koepisteessä käytetystä eri jauhimesta, joka on aiheuttanut tuloksien vertailukelvottomuuden.

5.1 Neliömassa

Jokaisesta arkista laskettiin erikseen neliömassa, jonka tavoitteena oli 60g/m^2 . Neliömassan laskemista varten täytyi selvittää arkkien massat ja pituudet. Näiden suhteesta saatiin laskettua arkkien neliömassat. Jokaisen arkin pituudet mitattiin viivoittimella ja tulokset kirjattiin. Arkin mitoista saatiin kertomalla laskettua mitta neliömetriä kohden. Arkin punnitukseen käytin kalibroitua vaakaa, mutta painojen mittaamisessa oli ongelmia saada tarkka tulos, koska arkki oli niin suuri, ettei vaa'an ympärille saanut suojalasia estämään ilmavirran aiheuttamia häiriöitä. Tästä johtuen arkkien painot heiluivat paljon mittauksen aikana, koska pienikin ilmavirta aiheutti heittoa painossa. Tämä selittää osaltaan arkeissa ilmenevää neliömassaheittelyä. Arkkien valmistusvaiheessa tulee myös väkisin heittelyä, koska massapitoisuus vaihtelee eri arkkien välillä. Tätä heittelyä voidaan pienentää sekoittamalla massaa kunnolla mahdollisimman usein.

Neliömassan heittelyllä ei ole suurta vaikutusta muihin mittauksiin, sillä lujuusominaisuuksista otettiin indeksiluku, joka on suhteutettu neliömassaan. Suurin vaikutus on tiheyteen ja bulkkiin, jotka lasketaan neliömassan ja paksuuden suhteesta. Koepisteiden mitat on laskettu keskiarvoilla. Neliömassa heittelee noin +/- kahden yksikön verran (taulukko 1). Eniten neliömassaheitoa on 5 % ja 15 % ohrissa. Ohra 10 % on onnistunut todella hyvin ja on erittäin lähellä tavoiteltua 60 neliömassaa, joten voidaan todeta, että vaikutus ei ole ohrasta riippuvainen.

Taulukko 1 Neliömassa

Keskiarvo	mitat m*m	paino g	Neliömassa g/m ²
Koearkki	0,022	1,31	58,6
Kaura 5 %	0,022	1,27	58,0
Kaura 10 %*)	0,022	1,37	61,1
Kaura 15 %	0,022	1,38	61,5
Ohra 5 %	0,022	1,40	62,7
Ohra 10 %	0,022	1,36	60,3
Ohra 15 %	0,023	1,27	56,2

*) Eri jauhin kuin muissa koepisteissä

5.2 Paksuus, tiheys ja bulkki

Tiheys ja bulkki ovat kääntäen verrannollisia toisiinsa nähden. Tiheyden mittausta varten tarvitsee tietää mitattavan paperin neliömassa ja paksuus. Bulkki on puolestaan tiheyden käänteisluku. Paksuus mitataan paksuusmittarilla, joka antaa tuloksen mikrometreinä. Paperin paksuutta mitattaessa täytyy ottaa huomioon, että paperi on erittäin ohutta, joten yksittäisen paperin paksuuden mittaus olisi epäluotettavaa. Tämän takia paksuusmittausta varten papereita täytyy olla kymmenen kappaletta päällekkäin. Tämä arvo löytyy paksuusmittauslaitteen ohjekirjasta. Paksuus mitattiin kymmenen arkin nipusta, viidestä eri kohdasta.



Kuva 12. L&W MICROMETER-paksuusmittari

Taulukko 2 Paksuus, tiheys ja bulkki

Keskiarvo	Neliömassa g/m ²	Paksuus µm	Tiheys kg/m ³	Bulkki cm ³ /g
Koearkki	58,6	130,5	450	2,3
Kaura 5 %	58,0	103,8	560	1,8
Kaura 10 % *)	61,1	139,6	440	2,3
Kaura 15 %	61,5	142,5	410	2,4
Ohra 5 %	62,7	114,7	550	1,8
Ohra 10 %	60,3	108,6	560	1,8
Ohra 15 %	56,2	100,2	560	1,8

*) Eri jauhihin kuin muissa koepisteissä

Koearkilla, kaura 10 % ja 15 % arkeilla on huomattavasti suurempi paksuus, kuin muilla arkeilla (taulukko 2). Tästä johtuen näiden arkkien tiheys on pieni ja bulkki suuri, koska nämä arvot korreloivat paksuuden ja neliömassan suhdetta. Kaikki muut koepisteet ovat samaa luokkaa keskenään tiheyden ja bulkin suhteen. Bulkkiin vaikuttaa eniten märkäpuristus ja sen teho. Mitä suurempi kuiva-ainepitoisuus saavutetaan märkäpuristuksessa, sitä enemmän bulkki pienenee.

Koearkilla ja kaura 15 % arkilla vedenpoisto on ollut huonompaa, kuin muilla koepisteillä ja näin ollen niiden bulkki on jäänyt suuremmaksi. SR-luvuista nähdään (taulukko 1), että näiden koepisteiden massoilla on ollut heikoimmat suotautumisluvut, joten niiden vedenpoisto on ollut heikompa jo arkkien tekovaiheessa. Näin ollen märkäpuristuksessa, niistä on poistunut vähemmän vettä, koska märkäpuristus tehtiin samoilla parametreilla jokaiselle koepisteelle, ja bulkki on jäänyt korkeaksi, mutta tiheys pieneksi. (Knowpap 2017)

5.3 Ilmanläpäisy

Ilmanläpäisy mittaus suoritettiin Bendtsen-ilmanläpäisymittarilla. Mittaukset suoritettiin käyttämällä ISO 8791-4 standardia, missä määritellään ilmanläpäisymittausta koskevia määräyksiä. Jokaisesta koepisteestä otettiin kymmenen mittausta eri arkeista. Näiden tulosten pohjalta laskettiin keskiarvot jokaiselle koepisteelle. Koepisteiden sisällä eri arkkien välillä oli huomattavia eroja ilmanläpäisyssä, kuten max- ja min-arvoista on nähtävissä (liite 1). Päällystämättömälle paperille tyypillinen ilmanläpäisy vaihtelee 300 ml/min ja 500 ml/min välillä. Teoriaosassa käsiteltiin ilmanläpäisyyden vaikuttavia tekijöitä. Yksi ilmanläpäisyyden liittyvä tekijä on paperin tiheys.

Kaura 15 % on erittäin pieni tiheys ja tämä nostaa selvästi sen ilmanläpäisyyttä (taulukko 3). Lisäksi ilmanläpäisy kasvaa eksponentiaalisesti tietyn pisteen jälkeen. Kaura 5 %, ohra 10 % ja ohra 15 % arkkien ilmanläpäisy on lähimpänä päällystämättömän paperin ilmanläpäisyä. Kaura 5 % ja ohra 15 % päästävät läpi vähemmän ilmaa, kuin koearkki ja niiden keskihajonta on hyvin pientä verrattuna koearkkiin (liite 1).

Taulukko 3 Ilmanläpäisy

Keskiarvo	Ilmanläpäisy ml/min
Koearkki	535,4
Kaura 5 %	503,2
Kaura 10 % *)	6055
Kaura 15 %	6045
Ohra 5 %	848,9
Ohra 10 %	575,9
Ohra 15 %	439,3

*) Eri jauhihin kuin muissa koepisteissä

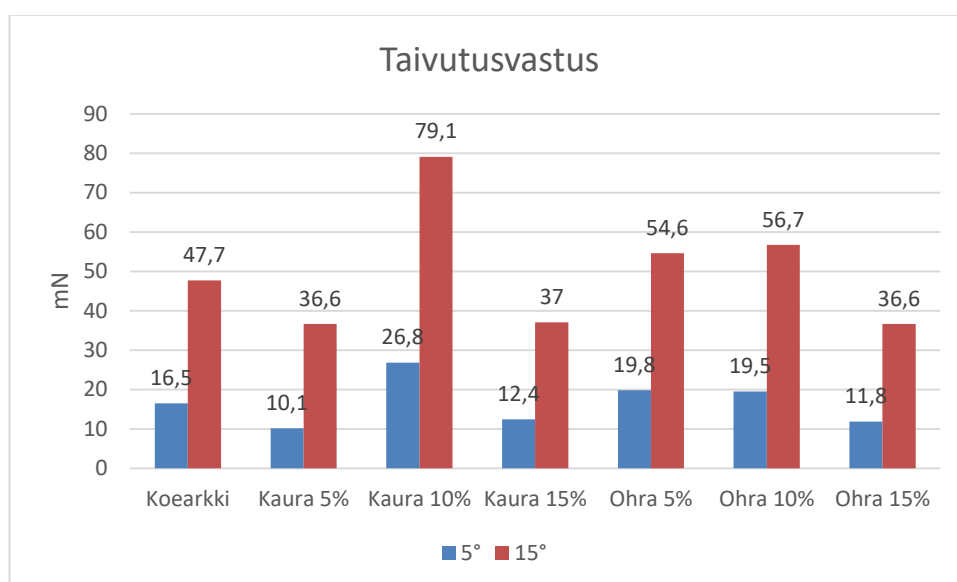
Ilmanläpäisystä saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että käytetyt sivuvirtajakeet, eivät ole vaikuttaneet heikentävästi paperin ilmanläpäisyyneen, koska suurin osa sivuvirta-koepisteistä on samaa tasoa tai parempaa, kuin koearkissa. Eikä sivuvirtojen käyttömäärä ole vaikuttava tekijä, sillä paras ilmanläpäisytulostuoli saatiin ohra 15 % arkeilla. Kauran ja ohran keskinäisistä eroista ilmanläpäisyn suhteen, ei voi vetää suuria johtopäätöksiä. Kaura 15 % päästää läpi erittäin paljon ilmaa, mutta samaan aikaan kaura 5 % päästää toiseksi vähiten. Ilmanläpäisyerot johtuvat siis muista syistä, kuin kauran ja ohran eroista.

5.4 Taivutusvastus

Taivutusvastus mittaukset suoritettiin LW bending tester-laitteella (kuva 1). Mittaukset suoritettiin käyttämällä laboratorio-ohjeissa määriteltyjä ISO-standardeja taivutusvastuksen mittaamiseen. Mittauksia varten koearkeista leikattiin standardin mukaisesti 3,8cm*8,0cm kappaleita. Testausta varten valittiin koepisteistä kaksi arkkiä jokaisesta, joiden neliömassat olivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Arkeista leikattiin standardin mukaiset kappaleet mittauksia varten. Mittauksissa arkeista otettiin arvo, kuinka paljon voimaa vaaditaan taivuttamaan se 5 asteen ja 15 asteen kulmiin. Ensin mitattiin arkit pin-tapuoletta ja tämän jälkeen selkäpuolelta.

Taivutusvastukseen vaikuttaa eniten arkin bulkki ja kimmoisuus. Kaura 15 % bulkki oli hyvällä tasolla, mutta sen taivutusvastus on huomattavasti heikompi, kuin koearkilla. Kaura 15 % on samalla tasolla kaura 5 % kanssa, vaikka niiden bulkissa on suuri ero

(taulukko 2). Tässä tapauksessa korkea bulkki ei antanut kaura 15 % hyvää taivutusvastusta, joten luultavimmin kaura 15 % kimmokerroin on pieni, joka oli toinen vaikuttava tekijä taivutusvastukselle. Koearkilla taivutusvastus viidessä asteessa on 16,7 Nm ja 15 asteessa 47,7 Nm. Ohra 5 % ja ohra 10 % ovat samalla tasolla keskenään ja molemmilla on parempi taivutusvastus, kuin koearkilla. Kaura 5 %, kaura 15 % ja ohra 15 % jäävät puolestaan heikommalle tasolle, kuin koearkki. Bulkki-arvoista nähdään (taulukko 2), että kaura 5 % ja kaikilla ohrilla on sama bulkki, mutta kaura 5 % ja ohra 15 % on huomattavasti huonompi taivutusvastus, kuin ohra 5 % ja ohra 10 %. Tämänkin voi selittää arkkien huono kimmokerroin, tai mahdollisesti formaatio. Mittaukset on suoritettu arkista samasta kohtaa, mutta eri puolilta. Näin ollen on mahdollista, että käytetyissä arkeissa mittauskohdassa on ollut huono formaatio, ja tämä on heikentänyt arkkien taivutusvastusta.



Kuvio 1 Taivutusvastus 5° ja 15 ° kulmissa (kaura 10% eri jauhina kuin muilla koepisteillä).

Taivutusvastuksesta saatujen tulosten perusteella huomattiin, että sivuvirtajakeet eivät ole vaikuttaneet merkittävästi paperin taivutusvastukseen, eikä käytetty määrä ole heikentänyt huomattavasti arkin taivutusvastusominaisuuksia. Ohra 5 % ja ohra 10 % ollessa parempia, kuin koearkilla, vaikuttaa siltä, että ohra soveltuu paremmin taivutusvastukseen, kuin kaura. Voi myös olla, että kevyiden papereiden huono mittaustulosten tarkkuus aiheuttaa ongelmia taivutusvastuksen mittaamisessa. Osa mahdollisista eroista mittaustuloksissa selittyikin juuri tällä, että kevyillä lajeilla on vaikea saada tarkkoja arvoja, koska arkki ei varsinaisesti aiheuta taivutusvastusta sen ollessa, niin kevyt.

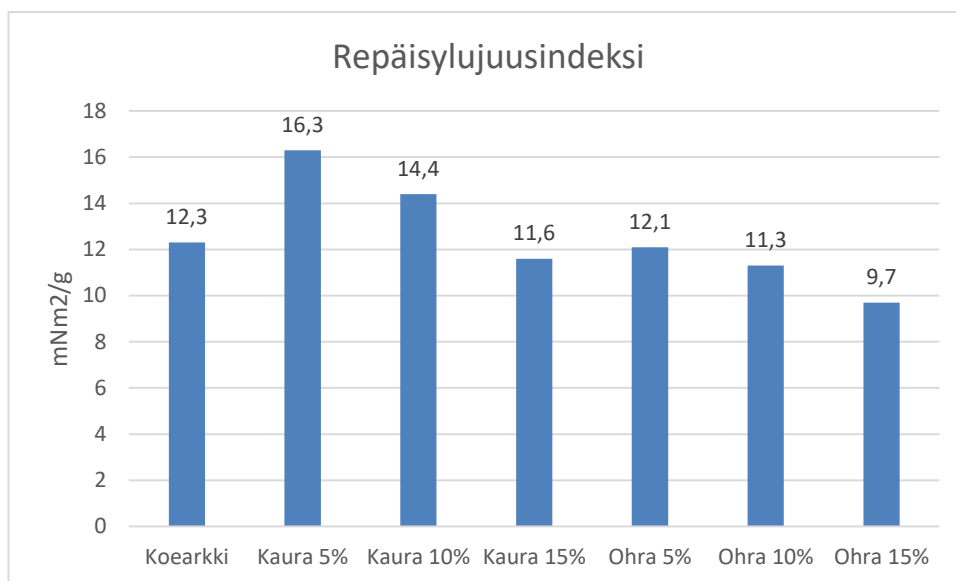
5.5 Repäisylujuus

Repäisylujuutta varten leikkattiin jokaisesta koepisteestä standardin mukaiset arkit mittauksia varten. Arkkien tekoa varten oli standardin mukainen leikkauslaite. Jokaista mitausta varten tarvittiin neljä saman koepisteen leikattua arkkia. Mittauksia tehtiin viisi kappaletta jokaisesta koepisteestä, eli yhtä koepistettä varten tarvittiin 20 kappaletta standardin mukaisia arkkeja. Mittauslaitteeseen asetettiin neljä päällekkäistä arkkia ja näihin tehtiin alkuviihlo laitteessa olevalla terällä. Tämän jälkeen laitteella suoritettiin heilahdusliike, joka repi arkipinon rikki ja laski siihen käytetyn voiman. Yksittäiset tulokset täytyi kirjata ylös, sillä laitteella ei voinut tulostaa mitään. Koepisteen lopuksi laite ilmoitti keskiarvon ja keskihajonnan, mitkä kirjattiin ylös (liite 1).



Kuva 13. L&W TEARING TESTER-laite repäisylujuuteen

Repäisylujuuteen vaikuttaa jauhatusaste, märkäpuristus ja kuitujen pituus. Märkäpuristus suoritettiin samalla periaatteella kaikilla koepisteillä, joten siitä johtuvaa vaikutusta on vaikea arvioida. Jauhatusessa ainoa eroavaisuus oli kaura 10 % käytetty jauhin, joka oli eri kuin muissa koepisteissä. Kyseisen jauhimen terät olivat ruosteessa ja kädellä kokeiltuna tuntuivat tylsäköiltä. Pitkä jauhatusaika heikentää paperin repäisylujuutta, sillä jauhatuksella parannetaan aluksi repäisylujuutta, mutta pian se alkaa laskea sitä. Tämä perustuu siihen, että pitkäkestoinen jauhatus heikentää kuituja rasituksen takia ja repäisylujuutta heikentävät helposti katkeavat kuidut. Käytetty mäntysulfaatti sisältää pitkiä kuituja, jotka lisäävät repäisylujuutta. Kauran ja ohran kuiturakenteesta ei ole tietoa, sillä sitä ei ole tutkittu tarkemmin, eikä se käytettävissä olevilla laitteilla olisi onnistunut.



Kuvio 2 Repäisylujuusindeksimittaukset keskiarvojen mukaan (kaura 10 % eri jauhimella kuin muut koepisteet).

Tutkimalla arvoja (kaavio 2) huomataan, että kaura 5 % on erittäin hyvä repäisylujuusindeksi ja se ovat paremmalla tasolla, kuin koearkilla. Kaura 15 % ja kaikki ohra koepisteet ovat heikompia, kuin koearkki. Ohra 15 % repäisylujuusindeksi on erittäin heikko suhteessa muihin. Vertailtaessa kaura- ja ohra koepisteitä huomataan, että kauranjakeiden arvot ovat huomattavasti parempia, kuin vastaavien ohrajakeiden. Molemmissa sivuvirroissa huomataan, että lisätty määrä sivuvirtoja heikentää repäisylujuusindeksiä.

Pienikin määrä ohraa on heikentänyt repäisylujuusindeksin koearkkia heikommaksi. Tästä voidaan todeta, että ohran käyttäminen heikentää tuotteen repäisylujuutta, mutta 5 % määrällä ero ei ole kovin suuri. Ohra 10 % ja 15 % vaikutus kertaantuu ja repäisylujuusindeksi on laskenut huomattavasti. Kauraa sisältävissä koepisteissä, vasta 15 % lisäys on saanut repäisylujuusindeksin koearkkia heikommaksi, ja sekin vain 0,7 mN, joka ei ole kovin merkittävä. Ohrassa vastaava ero on kuitenkin 2,6 mN. Miettien repäisylujuutteen vaikuttavia ominaisuuksia voidaan pohtia kaurankuoren sisältävän mahdollisesti pitkiä kuituja, koska sen lisääminen paperiin nosti aluksi paperin repäisylujuusindeksiä. Ohra puolestaan heikensi huomattavasti repäisylujuutta, joten uskoakseni se sisältää pieniä kuituja, joista ei ole apua repäisylujuuteen, vaan päinvastoin se heikensi repäisylujuusindeksiä todella paljon. Näitä seikkoja tukevat arkeista otetut kuvat (liite 2). Lisäksi

omat havaintoni kaurasta ja ohrasta lipeäkäsittelyn jälkeen tukevat näitä lopputuloksia, kuten aiemmin mainittiin massan valmistuksessa.

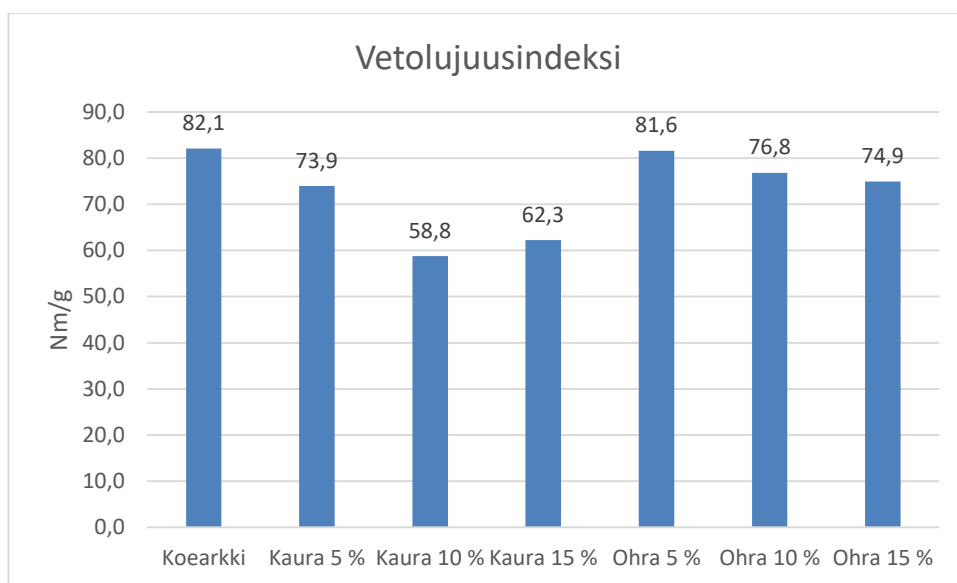
5.6 Vetolujuus

Vetolujuutta varten leikattiin jokaisesta koepisteestä standardin mukaisia arkkeja. Standardin mukaan arkit täytyi leikata mittoihin 1,5cm*14,0cm. Leikkaamista varten oli valmiina laite, josta saa oikeaan mittaan leikattuja arkkeja. Vetolujuutta varten arkit täytyisi mitata kone- ja poikkisuunnasta erikseen, mutta arkintekolaitteella ei ollut mahdollista vaikuttaa kone- ja poikkisuuntaan, joten koepisteistä otettiin mittaukset vain yhdestä suunnasta. Mittauksia otettiin kymmenen kappaletta jokaisesta koepisteestä. Yksittäiset mittaustulokset täytyi kirjata ylös, sillä laite antoi lopuksi vain keskiarvon ja keskihajonnan. Laitteeseen syötettiin aluksi mitattavan koepisteen neliömassa, joten se laski automaattisesti vetolujuusindeksin jokaiselle koepisteelle.



Kuva 14. L&W TENSILE TESTER vetolujuusmittaukseen

Vetolujuuteen vaikuttaa yksittäisten kuitujen lujuus, mutta paras vetolujuus saavutetaan lujilla hyvät sitoutumisominaisuudet omaavilla suorilla kuiduilla. Jauhatuksella vaikutetaan kuitujen suoristumiseen ja märkäpuristuksella kuitujen sitoutumiseen keskenään. Kaura 15 % koepisteellä suotautumisluku oli heikko, mikä vaikuttaa märkäpuristukseen. Jauhamalla vaikutetaan kuitujen suoruuteen ja märkäpuristuksella saadaan kuidut lähemmäksi toisiaan ja näin ollen muodostamaan enemmän ja lujempia sidoksia. Eli hyvä jauhatus ja märkäpuristus parantavat vetolujuutta.



Kuvio 3 Vetolujuusindeksimittauksien tulokset (kaura 10 % eri jauhimella kuin muut koepisteet).

Tutkimalla arvoja (kaavio 3) nähdään, että koearkki omaa parhaimman vetolujuusindeksin, mutta ohra 5 % on lähes samalla tasolla. Ohra 10 % ja ohra 15 % ovat myös hyvällä tasolla ja suhteellisen lähellä koepisteen arvoa. Kauran koepisteiden arvot ovat kaikista heikoimpia ja ne ovat selkeästi huonompia, kuin muilla koepisteillä, pois lukien kaura 5 %, joka on vain vähän ohra 15 % koepistettä heikompi. Nähdään, että kaura 15 % koepiste on noin 30 Nm/g heikompi, kuin koearkki. Molemmissa sivuvirtakoepisteissä huomataan, että lisätty kauran- ohrankuoren määrä heikentää vetolujuusindeksiä, joskin ohra muutos on huomattavasti pienempi. Tämä voi selittyä myös arkkien valmistusvaiheessa tapahtuneista eroista.

Pienikin lisäys kauraa on heikentänyt vetolujuusindeksiä huomattavasti koearkkia heikommaksi. Tästä voidaan todeta, että kaurankuoren käyttäminen heikentää vetolujuutta. Kaura 15 % suuret erot muihin koepisteisiin voivat johtua koepisteen heikosta SR-luvusta, mikä on vaikuttanut sen märkäpuristuksen tehoon ja tätä kautta heikentänyt vetolujuutta. Näin ollen ei voida todeta, että kauran heikot tulokset johtuisivat pelkästään lisäystä kaurankuoresta, vaan suuri vaikutus on valmistuseroilla. Ohran koepisteet ovat myös heikompia, kuin koearkin, joten niissäkin kuorimateriaalin lisäys on heikentänyt vetolujuusindeksiä, mutta ottaen huomioon, että ohra 5 % ja koearkin välinen ero on vain 0.5 Nm/g, ohran lisäyksen vaikutus ei ole kovin suuri. Lisäksi ohran ja koearkin valmistuksessa on ollut vähemmän eroja, kuin kauran kanssa, joten niiden erot johtuvat tarkemmin eri raaka-aineista johtuvista syistä.

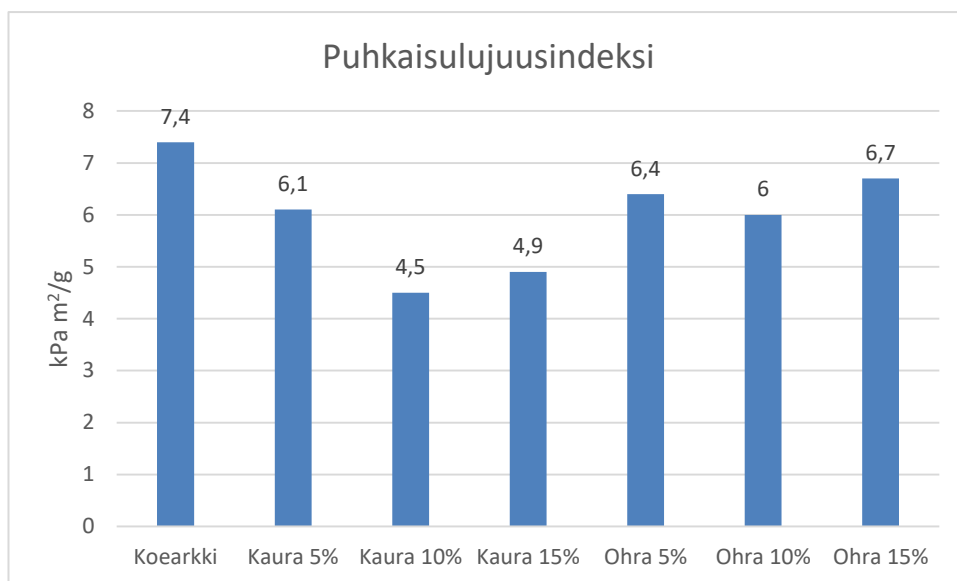
5.7 Puhkaisulujuus

Puhkaisulujuus mitattiin L&W BURSTING STRENGTH Testerillä. Puhkaisulujuustestit on suoritettu käyttämällä ISO 187 standardin mukaan. Testissä käytettiin kokonaisia arkkeja, jotka syötettiin mittapään alle, joka kohdisti pienelle alueelle niin paljon painetta, että paperiarkkiin tuli reikä. Mittauksia otettiin kymmenen kappaletta jokaisesta koepisteestä. Puhkaisulujuuteen vaikuttaa paperin neliömassa, joten jokaisesta koepisteestä laskettiin indeksi neliömassan suhteen. Tämän avulla saatiin tarkin mahdollinen arvo, jota voidaan verrata koepisteiden välillä. Neliömassaan suhteutettu indeksi ilmoitetaan muodossa $\text{kPa m}^2/\text{g}$.

Puhkaisulujuuteen vaikuttaa paperin vetolujuus ja murtovenymä. Murtovenymää ei voitu mitata koearkeista, sillä murtovenymämittauksen standardien vaatimat mitat ylittävät koearkkien mitat. Tämän takia puhkaisulujuusindeksiä joudutaan vertaamaan vetolujuudesta saatuihin tuloksiin, jotka antavat suuntaa puhkaisulujuudesta saatuihin arvoihin.



Kuva 15. L&W BURSTING STRENGTH TESTER-laite puhkaisulujuustestiin



Kuvio 4 Puhkaisulujuusindeksi (kaura 10 % eri jauhimella kuin muut).

Koearkin puhkaisulujuusindeksi on huomattavasti suurempi, kuin sivuvirtakoepisteillä (kaavio 2). Pienin ero on ohra 15 % kanssa, joka on $0.7 \text{ kPa m}^2/\text{g}$. Ohra 5 % ja ohra 15 % koepisteillä on parhaimmat puhkaisulujuusindeksi sivuvirtakoepisteistä ja nämä ovat suhteellisen lähellä koearkin arvoja. Kaura 5 % ja ohra 10 % ovat lähes samalla tasolla ja niilläkin puhkaisulujuusindeksi on hyvää luokkaa. Kaura 15 % omaa puolestaan erittäin heikon puhkaisulujuusindeksin. Puhkaisulujuusindeksin arvot, eivät ole riippuvaisia lisäystä määrästä sivuvirtoja, sillä paras arvo on saavutettu ohra 15 % koepisteellä. Puhkaisulujuusindeksin ollessa riippuvainen vetolujuudesta ja murtovenymästä, saatuja tuloksia täytyy peilata vetolujuuden tuloksiin ja niiden syihin.

Kaikilla sivuvirtakoepisteillä on heikompi puhkaisulujuusindeksi, kuin koearkilla, joten voidaan todeta, että sivuvirtojen käyttö heikentää leipäpussipaperin puhkaisulujuutta, mutta se ei ole pelkästään riippuvainen sivuvirtojen määrästä arkeissa ja sen merkitys on huomattavan pieni. Vertaillen puhkaisulujuuksia vetolujuuksiin, huomataan, että ne ovat lähes suoraan verrannollisia keskenään. Heikot vetolujuudet ovat myös aiheuttaneet heikon puhkaisulujuusindeksin. Kaura 15 % on heikompi vetolujuusarvo ja tämän takia, sen puhkaisulujuusarvot on myös selkeästi kaikista heikoimmat. Kaura 5 % ollessa lähes samaa tasoa ohran koepisteiden kanssa, kauran ja ohran keskinäisiä eroja on vaikea arvioida.

6 TULOSTEN VERTAILU VALMIISEEN LEIPÄPUSSIIN

Saatuja tuloksia sivuvirtakoepisteistä verrattiin Mondi Groupin valmistamaan leipäpussi-paperiin, joka on tuotenimellä Advantage MG Kraft. Tästä tuotteesta Mondi Group ilmoittaa, että se soveltuu erityisen hyvin leipäpussiksi. Mondi Groupin vastaava tuote valittiin, koska hyvin harvat valmistajat ilmoittivat tuotetietoja ja Mondi Groupilta nämä tiedot löytyivät. Vertailun tarkoituksena oli nähdä, kuinka hyvin sivuvirtoja sisältävien koetuotteiden tulokset, ovat suhteessa kaupalliseen leipäpussiin. Tästä saatiin selville, että onko mahdollista käyttää kauran- ja ohrankuorta leipäpussipaperin valmistuksessa, ja silti säilyttää tarpeelliset ominaisuudet tuotteen kannalta. Vertailuun valittiin vetolujuusindeksi, repäisylujuusindeksi, ilmanläpäisy, paksuus ja puhkaisulujuusindeksi, joka jouduttiin laskemaan, sillä Mondi Groupin tuloksissa puhkaisulujuus ei ollut indeksilukuna. (Mondi Group)

Taulukko 4 Mondi Group leipäpussipaperiarvot

Mondi Group	Advantage MG Kraft
Neliömassa	60 g/m ²
Paksuus	88 µm
Ilmanläpäisy	220 ml/min
Repäisylujuusindeksi MD	9 mN m ² /g
CD	11 m ² /g
Vetolujuusindeksi MD	118 Nm/g
CD	52 Nm/g
Puhkaisulujuusindeksi	4.4 kPa m ² /g

Tuloksia verrattiin koetuotteiden vastaaviin tuloksiin (taulukko 4). Vertailu hankaloittaa hieman se, että Mondin tulokset on mitattu, niin kone-, kuin poikkisuunnassa. Sivuvirta- arkeissa, ei ollut mahdollista vaikuttaa kone- ja poikkisuuntaan, joten mittaukset on otettu vain yhdestä suunnasta. Mondin tuotteella paksuus on huomattavasti alhaisempi, kuin koetuotteilla, mikä kertoo siitä, että paperikoneella tehty jatkuva märkäpuristus, on puristanut Mondin tuotteen huomattavasti ohuemmaksi, kuin laboratoriolaitteilla puristetut koetuotteet. Tämän vaikutuksesta Mondin tuotteella on hyvin suuri tiheys ja pieni bulkki. Mondin ilmanläpäisy on paljon pienempi, kuin koetuotteilla. Tämä johtunee paremmasta märkäpuristuksesta ja siitä aiheutuen, tiheämmästä paperista. Repäisylujuusindeksissä

verrattaessa konesuuntaista lujuutta, kaikkien koetuotteiden lujuudet ovat parempia, sillä heikoin repäisylujuusindeksi on ohra 15 % 9.7. Repäisylujuus on kuitenkin suurempi poikkisuuntaan mitattuna, joten vertaillaan sitä saatuihin koetuotteiden tuloksiin. Tästä huomataan, että kaikki muut koetuotteet olivat paremman repäisylujuusindeksin, kuin kaupallinen tuote, paitsi ohra 15 %. Näin ollen koetuotteilla on saavutettu tarpeeksi hyvä repäisylujuusindeksi leipäpussipaperin kannalta. Ohrassa 15 % lisäys on heikentänyt repäisylujuusindeksiä, sen verran, että se ei pärjää, kuin konesuuntaisessa lujuudessa.

Vetolujuudessa Mondin konesuuntainen lujuus on huomattavasti parempi, kuin koetuotteilla. Tässä on kuitenkin otettava huomioon, että Mondin tuotteella kuidut ovat konesuuntaa kohdin, mutta koetuotteilla, ei ole pystytty vaikuttamaan kuitujen suuntautumiseen. Kaikkien koetuotteiden vetolujuusindeksi, on kuitenkin paremmalla tasolla, kuin Mondin tuotteen poikkisuuntainen vetolujuusindeksi. Koska ei tiedetä tarkemmin sivuvirta-arkkien kuituorientaatiota, tuotteiden suora vertailu ei ole mahdollista. Sivuvirtojen vetolujuusindeksin ollessa, kuitenkin parempi, kuin Mondin poikkisuuntainen vetolujuusindeksi, nähdään, että sivuvirta-arkkeilla on suhteellisen hyvä vetolujuus.

Mondi Groupin leipäpussin puhkaisulujuusindeksi on heikompi, kuin kaikilla sivuvirtakoepisteillä. Kaura 15 % on hieman parempi puhkaisulujuusindeksi, kuin Mondin, sen ollessa 4.9 ja Mondin vastaava 4.5. Kaikki muut sivuvirtakoepisteet ovat kuitenkin huomattavasti parempia, kuin Mondin leipäpussi. Näiden koepisteiden arvot vaihtelevat välillä 6-6.7. Puhkaisulujuusindeksin perusteella, sivuvirtakoepisteillä on saavutettu tarpeelliset lujuudet, eikä niiden käyttö heikennä leipäpussin repäisylujuusindeksiä, alle toivotun tason.

Suurimmat erot olivat paksuudessa ja ilmanläpäisyssä, mutta erojen syyt, eivät todennäköisesti johdu sivuvirtojen käytöstä, vaan paperinvalmistuksen eroista Mondin ja koulun laitteiden välillä. Lujuusominaisuuksien vertailu näytti sen, että sivuvirtakoepisteiden lujuusominaisuudet olivat monessa tapauksessa paremmalla tasolla, kuin Mondin tuotteen vastaavat arvot. Vetolujuudessa sivuvirtakoepisteiden arvot jäivät Mondin konesuuntaista lujuutta pienemmiksi, mutta näitä ei voida verrata suoraan keskenään ja tässäkin tapauksessa saadut lujuusominaisuudet voivat olla, tarpeeksi hyvällä tasolla. Kaiken kaik-

kiaan sivuvirtakoepisteiden arvot osoittautuivat erittäin hyviksi ja tulokelpoisiksi valmiin tuotteen rinnalla. Näitä tuloksia vertaillen, ei löytynyt selvää syytä, miksi sivuvirtoja ei voisi käyttää leipäpussin valmistuksessa.

7 POHDINTA

Kauran- ja ohrankuorta ei voi käyttää paperinvalmistuksessa, ilman erillistä käsittelyä kuorille ja näiden jauhamista massan sekaan. Ilman käsittelyä kaura- ja ohrankuori jää paperin pintaan ja rapisee pois valmiista tuotteesta. Tämän takia kuorimateriaali täytyy käsitellä lipeäliuoksella tai muulla vahvalla emäksellä. Kuorista poistuu lipeäkäsittelyn aikana ligniiniä ja muita epäpuhtauksia ja se tekee kuorista hydrofiilisempia. Käsittely vaatii oikean seoksen, sekä lämpöä ja sekoitusta toimiakseen. Käsittelyn seurauksena kuorimateriaalista poistuu huomattavasti painoa.

Massojen ja arkkien valmistuksessa oli muutamia eroja koepisteiden välillä, mitkä vaikuttivat osiin mittaustuloksista. Nämä erot olivat kaura 10 % ja kaura 15 % arkeissa. Kaura 10 % massassa käytettiin eri jauhinta, kuin muissa. Tämä jauhimen terä oli ruosteessa ja tylsäkö. Lisäksi molemmissa koepisteissä suotautumisluku oli hyvin alhainen, muihin verrattuna. Nämä erot aiheuttivat muutamissa mittaustuloksissa heittoja, ja vaikeutta arvioida kauran vaikutusta näissä mittauksissa. Arviointi suoritettiin teoriaan tukeutumalla, sillä teorian pohjalta nähtiin, että jauhatus ja suotautumisluku näihin ominaisuuksiin. Tämän avulla saatiin parempi käsitys kauran vaikutuksesta mittaustuloksiin.

Neliömassoissa oli jonkin verran heittoa eri koepisteillä. Sillä ei ollut suurempaa merkitystä mittaustuloksiin, koska kaikki tulokset, mihin neliömassalla oli vaikutusta, otettiin indeksilukuna. Huonon suotautumisen takia kaura 15 % koepisteellä oli pieni tiheys ja suuri bulkki, muihin koepisteisiin verrattuna. Sivuvirtojen käyttö tai määrä ei ole vaikuttanut ilmanläpäisyyn, sillä kaura 5 %, ohra 10 % ja ohra 15 % ilmanläpäisy on parempi, kuin koearkilla.

Sivuvirtojen käytöllä ei ole merkittävää vaikutusta taivutusvastukseen. Ohra 5 % ja ohra 10 % omaavat suuremman taivutusvastuksen, kuin koearkki. Eroihin saattaa vaikuttaa kuituorientaatio, mihin ei pystytty vaikuttamaan arkkien valmistuksessa.

Kaurakoepisteellä 5 % jakeella on silti saavutettu parempi repäisylujuusindeksi, kuin koearkilla. Muut sivuvirtakoepisteet ovat heikompia, kuin koearkki. Ohran käyttö antaa heikommat repäisylujuudet, kuin kaura, joten sen käyttö pienissäkin määrin heikentää repäisylujuusindeksiä.

Vetolujuusindeksissä kaikki sivuvirtakoepisteet jäivät heikommiksi, kuin koearkki. Lisäksi tulokset laskivat, sitä enemmän, mitä enemmän lisättiin sivuvirtoja. Ohra 5 % on hyvin lähellä koearkin tasoa, ja muutkin ohran koepisteet ovat paremmalla tasolla, kuin kauran koepisteet. Kauran käyttö heikentää enemmän vetolujuutta, kuin ohran, mutta osa eroista selittyy huonoilla SR-luvuilla kaura 15 % arkilla. Tämä vaikuttaa märkäpuristukseen, mikä puolestaan vaikuttaa vetolujuuteen. Molempien sivuvirtakoepisteiden heikommat arvot kuitenkin todistavat, että sivuvirtojen käyttö heikentää vetolujuutta.

Puhkaisulujuusindeksissä kaikki sivuvirtakoepisteet ovat huonommalla tasolla, kuin koearkki. Tästä voidaan todeta, että sivuvirtojen käyttö heikentää puhkaisulujuusindeksiä, mutta se ei ole verrannollinen pelkästään käytettyyn määrään. Ohra 15 % on paras puhkaisulujuusindeksi sivuvirtakoepisteistä. Puhkaisulujuus pohjautuu vetolujuuteen ja murtovenymään. Tämän takia kaura 15 % arvot ovat erittäin heikkoja muihin verrattuna.

Mondi Groupin valmistaman leipäpussipaperin mittaustuloksiin verrattuna, nähdään sivuvirtojen käyttökelpoisuus leipäpussipaperin valmistuksessa. Vertailua hankaloittaa Mondin tuloksien ollessa kone- ja poikkisuuntaan. Suurimmat erot olivat paksuudessa ja ilmanläpäisyssä, mitkä johtuvat valmistuseroista, eikä sivuvirroista. Lujuusominaisuuksien vertailu osoitti, että koetuotteiden tulokset olivat monessa kohtaa parempia, kuin Mondin tuotteen arvot. Vetolujuudessa koetuotteiden arvot jäivät Mondin konesuuntaisia arvoja huonommiksi.

Kauran- ja ohrankuoret vaikuttavat eri ominaisuuksiin eri tavalla. Näitä syitä varten tarvitsisi olla tarkempaa tietoa sivuvirtojen rakenteesta. Vertaillessa sivuvirtojen tuloksia koearkin tuloksiin huomataan, että osa tuloksista on heikompia, kuin koearkilla, mutta monessa tapauksessa tulokset olivat samaa tasoa tai parempia. Tämän lisäksi, kun otetaan huomioon vertailu, valmiiseen leipäpussipaperiin voidaan todeta, että sivuvirtojen käyttö leipäpussipaperin valmistuksessa on täysin. Sivuvirtamateriaalit täytyy käsitellä emäksellä ja jauhaa massan sekaan, jotta ne olisi käyttökelpoisia paperinvalmistuksessa.

LÄHTEET

Hägglom-Ahnger, U, Komulainen, P. 2006. 5. painos. Gummerus kirjapaino. Jyväskylä. 26-32, 37-38, 43, 45-46, 88-89, 94, 98-99.

Iso-187:1990. Paperi, kartonki ja massa, olosuhteet ja mittausympäristö. Julkaistu 2013. Luettu 18.12.2017
<https://www.iso.org/standards.html>.

Isotalo, K.2004. 3.painos. Puu- ja sellukemia. 32, 62-65.

Knowpap versio 19.0. 2017. AEL/Proledge Oy. Saatavilla rajoitetusti. Luettu 2.11.2017.
http://www.knowpap.com.elib.tamk.fi/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/knowpap.htm.

Leipätiedotus. Luettu 28.11.2017.
<http://www.leipätiedotus.fi/tietoa-leivasta/vilja/kotimaiset-viljat/ohra>

Maaseudun tulevaisuus.13.11.2016. Luettu 28.11.2017.
<http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/kauran-kuori-palaa-satarehun-uudessa-1%C3%A4mp%C3%B6kattilassa-1.168586>.

Mondi Group. Luettu 25.11.2017
<https://www.mondigroup.com/en/products-and-solutions/categories/speciality-kraft-paper/advantage-mg-kraft/>.

Partanen, M. Myyntipäällikkö. Megatrex Oy. Haastattelu 21.4.2017

Vuorenmaa, J. Tutkimus- ja kehitysjohtaja. Hankkija Oy. Haastattelu 12.12.2017.

LIITTEET

Liite 1. kaikki taulukkoarvot

Koearkki	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m ²	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,0221	1,2640	57,3191	130,5000	0,4392	2,2767
2	0,0224	1,3380	59,8658	130,5000	0,4587	2,1799
3	0,0227	1,3250	58,4989	130,5000	0,4483	2,2308
4	0,0215	1,2500	58,2425	130,5000	0,4463	2,2406
5	0,0228	1,3000	57,0150	130,5000	0,4369	2,2889
6	0,0227	1,2800	56,5121	130,5000	0,4330	2,3092
7	0,0225	1,3030	57,9137	130,5000	0,4438	2,2534
8	0,0221	1,4150	64,1665	130,5000	0,4917	2,0338
9	0,0224	1,0410	46,5772	130,5000	0,3569	2,8018
10	0,0221	1,4390	65,2549	130,5000	0,5000	1,9999
11	0,0227	1,6030	70,7726	130,5000	0,5423	1,8439
12	0,0222	1,4240	64,1441	130,5000	0,4915	2,0345
13	0,0224	1,0680	47,7852	130,5000	0,3662	2,7310
14	0,0219	1,2230	55,8346	130,5000	0,4279	2,3373
15	0,0227	1,3520	59,6909	130,5000	0,4574	2,1863
Ka	0,0223	1,3083	58,6395	130,5000	0,4493	2,2499
Keskihajonta	0,0004	0,1400	6,1831		0,0474	0,2506

KAURA 5%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,0221	1,4350	65,0794	103,8000	0,6270	1,5950
2	0,0222	1,3850	62,3958	103,8000	0,6011	1,6636
3	0,0219	1,3650	62,3288	103,8000	0,6005	1,6654
4	0,0226	1,3620	60,1378	103,8000	0,5794	1,7260
5	0,0221	1,3560	61,4966	103,8000	0,5925	1,6879
6	0,0218	1,3820	63,5227	103,8000	0,6120	1,6341
7	EI LÖYDY	EI LÖYDY	EI LÖYDY	103,8000		
8	0,0215	1,3260	61,7894	103,8000	0,5953	1,6799
9	0,0215	1,2420	57,8697	103,8000	0,5575	1,7937
10	0,0216	1,2080	55,9130	103,8000	0,5387	1,8565
11	0,0218	1,2020	55,2491	103,8000	0,5323	1,8788
12	0,0221	1,2800	58,0499	103,8000	0,5592	1,7881
13	0,0218	1,1900	54,6976	103,8000	0,5270	1,8977
14	0,0221	1,2200	55,3238	103,8000	0,5330	1,8762
15	0,0215	1,1720	54,6132	103,8000	0,5261	1,9006
16	0,0215	1,1850	55,2139	103,8000	0,5319	1,8800
17	0,0228	1,3000	57,0175	103,8000	0,5493	1,8205
18	0,0216	1,2040	55,7201	103,8000	0,5368	1,8629
19	0,0216	1,1720	54,2392	103,8000	0,5225	1,9137
20	0,0216	1,1200	51,8303	103,8000	0,4993	2,0027
KA	0,0219	1,2687	58,0463	103,8000	0,5592	1,7882
Keskihajonta	0,0004	0,0923	3,7818		0,0364	0,1151

KAURA 10%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,0228	1,3300	58,3333	139,6000	0,4179	2,3931
2	0,0226	1,3750	60,7118	139,6000	0,4349	2,2994
3	0,0223	1,3330	59,6581	139,6000	0,4274	2,3400
4	0,0228	1,3650	59,8684	139,6000	0,4289	2,3318
5	0,0230	1,4040	61,1711	139,6000	0,4382	2,2821
6	0,0222	1,3640	61,4414	139,6000	0,4401	2,2721
7	0,0225	1,3690	60,8444	139,6000	0,4358	2,2944
8	0,0222	1,3800	62,1622	139,6000	0,4453	2,2457
9	0,0230	1,3890	60,5176	139,6000	0,4335	2,3068
10	0,0224	1,3940	62,3714	139,6000	0,4468	2,2382
11	0,0225	1,4240	63,2889	139,6000	0,4534	2,2058
12	0,0224	1,3770	61,6107	139,6000	0,4413	2,2658
13	0,0227	1,3880	61,2804	139,6000	0,4390	2,2781
14	0,0222	1,4090	63,4656	139,6000	0,4546	2,1996
15	0,0219	1,3620	62,1804	139,6000	0,4454	2,2451
16	0,0224	1,3580	60,7606	139,6000	0,4352	2,2975
17	0,0225	1,3740	61,0667	139,6000	0,4374	2,2860
18	0,0224	1,3530	60,5369	139,6000	0,4336	2,3060
19	0,0230	1,4530	63,3060	139,6000	0,4535	2,2052
20	0,0227	1,4040	61,9868	139,6000	0,4440	2,2521
21	0,0228	1,4100	61,8394	139,6000	0,4430	2,2575
22	0,0219	1,2330	56,3014	139,6000	0,4033	2,4795
KA	0,0225	1,3749	61,1229	139,6000	0,4378	2,2839
Keskihajonta	0,0003	0,0428	1,6354		0,0117	0,0632

KAURA 15%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,02265	1,344	59,337748	142,5	0,416405	2,401507
2	0,0228	1,441	63,201754	142,5	0,443521	2,254684
3	0,02265	1,484	65,518764	142,5	0,459781	2,174949
4	0,02265	1,552	68,520971	142,5	0,480849	2,079655
5	0,02235	1,345	60,178971	142,5	0,422309	2,367937
6	0,022801	1,525	66,883031	142,5	0,469355	2,130585
7	0,022952	1,499	65,310213	142,5	0,458317	2,181895
8	0,021609	1,255	58,077653	142,5	0,407562	2,453612
9	0,0225	1,35	60	142,5	0,421053	2,375
10	0,022052	1,303	59,087611	142,5	0,41465	2,411673
11	0,02295	1,481	64,53159	142,5	0,452853	2,208221
12	0,0228	1,309	57,412281	142,5	0,402893	2,482047
13	0,02235	1,317	58,926174	142,5	0,413517	2,41828
14	0,022052	1,263	57,273717	142,5	0,401921	2,488052
15	0,022499	1,364	60,624917	142,5	0,425438	2,350519
16	0,0222	1,302	58,648649	142,5	0,411569	2,429724
KA	0,022492	1,383375	61,470878	142,5	0,431375	2,325521
Keskihajonta	0,000372	0,097755	3,6268093		0,025451	0,133012

OHRA 5%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,021904	1,319	60,217312	114,7	0,524998	1,904768
2	0,022496	1,411	62,722262	114,7	0,546838	1,828697
3	0,021462	1,344	62,622309	114,7	0,545966	1,831616
4	0,022952	1,4	60,996863	114,7	0,531795	1,880425
5	0,0225	1,425	63,333333	114,7	0,552165	1,811053
6	0,021605	1,306	60,44897	114,7	0,527018	1,897468
7	0,02235	1,329	59,463087	114,7	0,518423	1,928928
8	0,022801	1,369	60,041226	114,7	0,523463	1,910354
9	0,0228	1,486	65,175439	114,7	0,568225	1,759865
10	0,02235	1,381	61,789709	114,7	0,538707	1,856296
11	0,0222	1,374	61,891892	114,7	0,539598	1,853231
12	0,02265	1,472	64,988962	114,7	0,566599	1,764915
13	0,02265	1,41	62,251656	114,7	0,542735	1,842521
14	0,02235	1,453	65,011186	114,7	0,566793	1,764312
15	0,022201	1,435	64,636728	114,7	0,563529	1,774533
16	0,022201	1,437	64,726814	114,7	0,564314	1,772063
17	0,022499	1,454	64,625094	114,7	0,563427	1,774852
18	0,022201	1,395	62,835007	114,7	0,54782	1,825416
19	0,021462	1,325	61,737024	114,7	0,538248	1,85788
20	0,02265	1,416	62,516556	114,7	0,545044	1,834714
21	0,022499	1,424	63,291702	114,7	0,551802	1,812244
22	0,022952	1,458	63,523876	114,7	0,553826	1,80562
KA	0,022352	1,401045	62,674864	114,7	0,546424	1,83008
Keskihajonta	0,000431	0,052162	1,7462388		0,015224	0,05132

OHRA 10%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,022648	1,368	60,402685	108,6	0,556194	1,797933
2	0,023104	1,399	60,552285	108,6	0,557572	1,793491
3	0,022801	1,341	58,81321	108,6	0,541558	1,846524
4	0,0225	1,405	62,444444	108,6	0,574995	1,739146
5	0,02235	1,358	60,760626	108,6	0,55949	1,787342
6	0,022499	1,336	59,380417	108,6	0,546781	1,828886
7	0,022801	1,37	60,085084	108,6	0,55327	1,807437
8	0,0225	1,346	59,822222	108,6	0,550849	1,815379
9	0,0225	1,368	60,8	108,6	0,559853	1,786184
10	0,022648	1,335	58,945602	108,6	0,542777	1,842377
11	0,02295	1,362	59,346405	108,6	0,546468	1,829934
12	0,0222	1,255	56,531532	108,6	0,520548	1,921052
13	0,02235	1,355	60,626398	108,6	0,558254	1,791299
14	0,022801	1,38	60,523661	108,6	0,557308	1,79434
15	0,0225	1,44	64	108,6	0,589319	1,696875
16	0,0228	1,391	61,008772	108,6	0,561775	1,780072
17	0,022648	1,328	58,636524	108,6	0,539931	1,852088
18	0,022952	1,393	60,691879	108,6	0,558857	1,789366
19	0,022648	1,413	62,389615	108,6	0,57449	1,740674
20	0,022201	1,405	63,285438	108,6	0,582739	1,716035
21	0,0225	1,295	57,555556	108,6	0,529977	1,886873
KA	0,022614	1,363952	60,314398	108,6	0,555381	1,800565
Keskihajonta	0,000242	0,041949	1,7816752		0,016406	0,053259

OHRA 15%	MITAT mm*mm	MASSA g	g/m2	PAKSUUS	TIHEYS	BULKKI
1	0,022499	1,278	56,802525	100,2	0,566891	1,764006
2	0,0225	1,283	57,022222	100,2	0,569084	1,75721
3	0,022499	1,294	57,513667	100,2	0,573989	1,742195
4	0,0228	1,246	54,649123	100,2	0,5454	1,833515
5	0,022952	1,26	54,897177	100,2	0,547876	1,82523
6	0,0225	1,273	56,577778	100,2	0,564648	1,771013
7	0,02235	1,263	56,510067	100,2	0,563973	1,773135
8	0,022801	1,28	56,137889	100,2	0,560258	1,784891
9	0,02265	1,285	56,732892	100,2	0,566197	1,766171
10	0,022499	1,251	55,602471	100,2	0,554915	1,802078
11	0,0225	1,307	58,088889	100,2	0,579729	1,724943
12	0,02235	1,268	56,733781	100,2	0,566205	1,766144
13	0,02235	1,217	54,451902	100,2	0,543432	1,840156
14	0,022801	1,269	55,655454	100,2	0,555444	1,800363
15	0,0225	1,24	55,111111	100,2	0,550011	1,818145
16	0,0225	1,265	56,222222	100,2	0,5611	1,782213
17	0,022648	1,27	56,075592	100,2	0,559637	1,786874
18	0,02265	1,292	57,041943	100,2	0,569281	1,756602
19	0,022496	1,271	56,498933	100,2	0,563862	1,773485
20	0,022496	1,243	55,254267	100,2	0,55144	1,813435
21	0,022648	1,287	56,82621	100,2	0,567128	1,763271
KA	0,022571	1,268667	56,209815	100,2	0,560976	1,782607
Keskihajonta	0,000162	0,020979	0,9550055		0,009531	0,030409

Ilmanläpäisy ml/min	Koearkki	Kaura 5%	Kaura 10%	Kaura 15%	Ohra 5%	Ohra 10%	Ohra 15%
1	784,8	472.2	5909	3008	1004	609,8	347,2
2	765,5	485.0	5913	3299	816,9	412,1	374,3
3	734,5	546.8	9999	9052	727,6	514	544
4	1002	560.6	4855	3859	632,8	617	547
5	673,4	327.0	3988	3971	1020	844,9	418,5
6	724,4	465.4	4674	4675	760,1	634,6	418,6
7	675,1	521.8	5034	9062	1072	527,7	294,1
8	253	519.0	7554	7987	959,7	558,8	609,2
9	402,9	516.6	6807	3974	817,6	632,2	498,1
10	269,4	554.0	4117	4223	1152	553	418,9
11	223,9	628.2	6799	4095	639,4	603,2	380,2
12	260,1	542.9	7994	9712	695,8	526,6	429
13	644,4	533.7	7157	3759	764,1	618,1	442,8
14	348,7	421.4	5913	9999	892,3	461,7	464,7
15	268,6	451.4	4117	9999	777,9	523,2	403,2
KA	535,4	503.2	6055	6045	848,9	575,9	439,3
Keskihajonta	254,4	70.57	1692	2815	160,5	98,68	82,6
Max	1002	628.2	9999	9999	1152	844,9	609,2
Min	223,9	327.0	3988	3008	632,8	412,1	294,1

Taivutusvas- tus	Koe- arkki		Kaura 5%		Kaura 10%		Kaura 15%		Ohra 5%		Ohra 10%		Ohra 15%	
	5°	15°	5°	15°	5°	15°	5°	15°	5°	15°	5°	15°	5°	15°
1	24,7	60,8	2,18	36	32	83,9	11	32	19,5	52	18	60,7	13,9	37,6
2	2,46	9,27	9,41	28,2	24	71,1	13	35	20	24,7	20,2	55,4	13,1	38,5
3	16,8	40,2	18,4	44,6	28	79,8	15	41	23,5	47	15,1	46,1	11,5	39
4	13,2	63,3	3,55	26,7	20	81,2	14	36	24,4	60,6	22	57,7	9,27	31
5	19,4	52,1	13	37,1	29	85,1	9,4	30	19,1	57,6	23,2	67,5	16,6	39,8
6	10,9	25,1	13,5	41,2	31	80,3	11	40	16,8	52	21	58	15,3	36,8
7	11,5	47,3	9,27	36,6	23	68,5	13	42	16,9	49,8	16,9	47,5	10,9	31,1
8	27	75,7	11,6	42	28	83,3	13	39	18	53,3	199	60,4	4,23	39
KA	15,75	46,72	10,1	36,6	27	79,1	12	37	19,8	54,6	19,5	56,7	11,8	36,6
Keskihajonta	7,98	21,56	5,32	6,4	4,2	6,1	1,9	4,4	2,8	3,6	2,7	7,1	3,9	3,6
Max	27	75,7	18,4	44,6	32	85,1	15	42	24,4	60,6	23,2	67,5	16,6	39,8
Min	2,46	9,27	2,18	26,7	20	68,5	9,4	30	16,8	49,8	15,1	46,1	4,23	31

Vetolujuus kN/m	Koe- arkki	Kaura 5%	Kaura 10%	Kaura 15%	Ohra 5%	Ohra 10%	Ohra 15%
1	4,68	4,62	3,48	3,68	5,24	4,68	4,28
2	4,42	4,45	3,69	4,02	5,27	4,63	4,32
3	4,91	4,5	3,28	3,9	5,39	4,48	4,06
4	4,87	4,22	3,69	3,9	5,23	4,8	4,61
5	4,92	4,59	3,51	3,98	5,22	4,78	4,27
6	4,84	4,06	3,6	3,8	4,8	4,9	4,5
7	4,59	4,21	3,29	3,98	4,85	4,74	3,99
8	4,84	4,34	3,84	3,6	4,97	3,96	3,64
9	4,85	3,67	3,84	3,79	5,25	4,79	4,18
10	4,78	4,3	3,71	3,62	4,94	4,55	4,27
Ka	4,77	4,3	3,59	3,83	5,12	4,63	4,21
Indeksi Nm/g	82,07	73,93	58,79	62,26	81,59	76,8	74,93
Keskihajonta	0,1603	0,2827	0,2011	0,1538	0,2052	0,2671	0,2718

Repäisylujuus	Koe- arkki	Kaura 5%	Kaura 10%	Kaura 15%	Ohra 5%	Ohra 10%	Ohra 15%
1	706 mN	1012 mN	872 mN	816 mN	744 mN	632 mN	606 mN
2	750 mN	913 mN	914 mN	746 mN	758 mN	699 mN	518 mN
3	699 mN	936 mN	916 mN	649 mN	723 mN	696 mN	500 mN
4	715 mN	936 mN	824 mN	710 mN	816 mN	664 mN	588 mN
5	721 mN	915 mN	856 mN	647 mN	761 mN	728 mN	533 mN
KA	718 mN	948 mN	879 mN	714 mN	760 mN	684 mN	549 mN
Keskihajonta	20 mN	41 mN	39 mN	71 mN	35 mN	37 mN	46 mN
Indeksi	12,3	16,3	14,4	11,6	12,1	11,3	9,7

Puhkaisulujuus	Koearkki	Kaura 5%	Kaura 10%	Kaura 15%	Ohra 5%	Ohra 10%	Ohra 15%
1	453 kPa	378 kPa	248 kPa	290 kPa	365 kPa	357 kPa	379 kPa
2	459 kPa	328 kPa	267 kPa	311 kPa	400 kPa	203 kPa	350 kPa
3	431 kPa	319 kPa	261 kPa	302 kPa	379 kPa	391 kPa	378 kPa
4	466 kPa	348 kPa	267 kPa	285 kPa	343 kPa	360 kPa	390 kPa
5	504 kPa	358 kPa	279 kPa	271 kPa	369 kPa	371 kPa	385 kPa
6	493 kPa	408 kPa	290 kPa	315 kPa	438 kPa	398 kPa	381 kPa
7	450 kPa	351 kPa	301 kPa	323 kPa	460 kPa	411 kPa	369 kPa
8	467 kPa	342 kPa	300 kPa	315 kPa	418 kPa	369 kPa	369 kPa
9	308 kPa	357 kPa	267 kPa	269 kPa	440 kPa	423 kPa	381 kPa
10	307 kPa	365 kPa	295 kPa	314 kPa	420 kPa	359 kPa	391 kPa
KA	434	355	277	299	403	364	377
Keskihajonta	70	25	18	20	38	61	12
Max	504	408	301	323	460	423	391
Min	307	319	248	269	343	203	350
Indeksi	7,4	6,1	4,5	4,9	6,4	6	6,7

Liite 2. Arkkien kuvat

